

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LEILA SELEME MARIANO

GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL COM  
REAPROVEITAMENTO ESTRUTURAL: ESTUDO DE CASO DE UMA OBRA  
COM 4.000m<sup>2</sup>

CURITIBA  
2008



LEILA SELEME MARIANO

GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL COM  
REAPROVEITAMENTO ESTRUTURAL: ESTUDO DE CASO DE UMA OBRA  
COM 4.000m<sup>2</sup>

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial obtenção do título de Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Maria Cristina Borba Braga

Co-Orientador: Prof. Dr. Marienne do Rocio de Mello Maron da Costa

CURITIBA  
2008



## TERMO DE APROVAÇÃO

LEILA SELEME MARIANO


### “GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL COM REAPROVEITAMENTO ESTRUTURAL: ESTUDO DE CASO DE UMA OBRA COM 4.000M<sup>2</sup>”.

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela comissão formada pelos professores.

PRESIDENTE:

  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Cristina Borba Braga  
Universidade Federal do Paraná  
Orientadora

MEMBROS:

  
Prof. Dr. Kleber Frank Portela  
LACTEC

  
Prof. Dr. Miguel Mansur Aisse  
PPGERHA

  
Prof. José Alberto Cerri  
UTFPR

Curitiba, 11 de junho de 2008



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Deus pela sabedoria e dedico este projeto aos meus pais que me proporcionaram a oportunidade de crescer e estudar.

Agradeço meus pais, Luiz Carlos Mariano e Salma Seleme Mariano, a meus irmãos Jorge Luiz, Luiz Paulo e Andre Luiz, e também a grande amiga Liane Oshima, pela amizade, compreensão e por todo o apoio oferecido.

Agradeço à Prof. Dr. Maria Cristina Borba Braga por sua acolhida e por sua orientação, que foi excelente, pelo tempo disposto e pelo conhecimento compartilhado, e, também, a minha co-orientadora Prof. Dr. Marienne do Rocio de Mello Maron da Costa, pela atenção e disposição em responder as minhas dúvidas e por sempre me ajudar no foi preciso.

Ao suporte financeiro oferecido pelo PADA – Programa de Apoio ao Desenvolvimento Acadêmico, aos laboratórios LAME – Laboratório de Materiais e Estruturas, LAMIR – Laboratório de Análise de Minerais e Rochas e Bianco Tecnologia do concreto, pelo auxílio oferecido e excelente atendimento.

À empresa J L Consultoria Engenharia Ltda por ter cedido sua obra e todos os dados necessários para a realização deste estudo, bem como ter autorizado a modificação de seu canteiro de obras, a implantação das boas práticas e a implantação do Programa de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil.

Ao escotismo, aos colegas, aos professores e aos funcionários que me ajudaram a chegar onde estou e ser uma pessoa melhor.





## RESUMO

A gestão de resíduos sólidos se enquadra como saneamento básico e, portanto, ações de gerenciamento devem ser integradas para melhorar a qualidade de vida da população. No Brasil a geração de resíduos da construção civil, em novas edificações, é de 300 kg/m<sup>2</sup>, enquanto em países desenvolvidos é de 100 kg/m<sup>2</sup>. Os problemas ambientais referentes aos resíduos de construção e demolição estão relacionados a sua disposição final e à exploração de matérias primas. Neste estudo foi abordada a questão dos resíduos sólidos urbanos, especificamente o entulho de obras de construção civil. O objetivo geral deste estudo foi gerenciar os resíduos de uma obra, enquadrada como grande geradora de resíduos e gerar concreto com finalidade estrutural a partir do processamento de resíduos de concreto e argamassa. A obra selecionada possuía 4.465,45 m<sup>2</sup>, para a qual foi elaborado o Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), que foi aplicado durante toda a execução dos procedimentos. Este plano incluiu a quantificação dos resíduos para posterior análise de geração, tendo sido separados os resíduos de concreto e argamassa, para reutilização na elaboração de concretos em que estes resíduos, respectivamente, substituíram frações do agregado graúdo (pedra brita) e do agregado miúdo (areia). Foram realizados testes para caracterização do concreto gerado e dos agregados utilizados. Para tanto, na obra, foram elaborados corpos – de – prova, que foram rompidos em laboratório para a caracterização da resistência estrutural dos concretos produzidos. Além deste teste, também foram realizadas análises granulométrica, termogravimétrica, morfológica, reatividade potencial e de permeabilidade. Em relação à geração de resíduos, foi observada uma geração inferior às médias nacionais e próxima às médias internacionais. A resistência obtida pelo concreto gerado teve grande variabilidade, atingindo valores que variaram de 6 MPa a 21,4 MPa, para a mesma mistura. Relacionando as resistências obtidas aos resultados dos testes de caracterização do agregado e do concreto percebe-se necessidade de cuidados especiais referentes à qualidade dos agregados utilizados, principalmente em relação proporção de finos e superfície específica. Percebe-se, também, que a geração de concretos estruturais com a utilização de agregados reciclados é possível, mas o custo em relação ao concreto produzido com agregados convencionais é mais elevado. Os resultados obtidos permitiram concluir que a elaboração e aplicação do programa de gerenciamento de resíduos trouxe vantagens ambientais e econômicas, resultados que estimulam a sua utilização, sendo a maior vantagem a não-disposição e a não exploração de matéria-prima devido ao reaproveitamento dos resíduos.

**Palavras - chave:** resíduos de construção e de demolição (RCD), Gerenciamento de RCD, Reciclagem de RCD, Grandes geradores de RCD, Concreto estrutural



## ABSTRACT

Solid waste management is considered an issue related to the field of sanitation, and thus, management actions must be integrated to improve the quality of life. In Brazil, generation of construction and demolition waste regarded to construction sites, especially new buildings, is of 300 kg/m<sup>2</sup>, whereas in industrialized countries is of 100 kg/m<sup>2</sup>. Environmental problems related to construction and demolition waste are regarded to their final disposal and exploitation of raw materials. Thus, in this study construction and demolition waste management was considered, and the main goals of this research were the implementation of a CDW Management Plan, as well as the generation of structural concrete produced from recycled aggregates. To carry out this study it was adopted a construction site with an area of 4.465,45 m<sup>2</sup>, to which an integrated CDW Management Programme was established and assessed the whole time of the study. This programme included the account of amounts of waste generated in the construction site for further inventory, as well as the separation of concrete and mortar waste, which were planned to be reused as constituents of structural concrete in substitution to raw aggregates, such as crushed stone and sand. Tests for the characterization of concrete produced and aggregates utilized were carried out. Thus, concrete samples cylinders were developed in the construction site and analyzed by compression test. Besides this test, grain size, thermogravimetric, morphologic, potential reactivity and permeability analyses were carried out. Regarding waste generation, it was observed that in this study the CDW average amounts were below national values but were similar to international average values. From the mechanical resistance test for concrete, it was observed a variability from 6 MPa to 21,4 MPa, for the same mixture. Referencing the obtained mechanical resistance to the characterization tests for the aggregates and the concrete, it was observed the need for special care with regard to the quality of the utilized aggregates, especially regarding the proportion of fine grained solids as well as specific surface area. From the results obtained by this research, it can be stated that it is possible to produce structural concrete from recycled aggregates, however, it is more expansive than the concrete produced from natural aggregates. Thus, the results allowed the conclusion that the implementation of CDW Management Programme brought environmental and economic advantages, since the results can be related to an improvement in the utilization of recycled waste, being the major advantage the conscientiousness derived from the knowledge that best practices in the construction site must be implemented in order to avoid inadequate disposal as well as reduction of exploitation of non-renewable resources.

**Key words:** construction and demolition waste, construction waste management, construction waste recycling, Construction waste generation, reuse of CDW waste, structural concrete



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – CHAPISCO, EMBOÇO E REBOCO _____	30
FIGURA 3.1 – ÁREA DE ESTUDO _____	36
FIGURA 3.2 – PALESTRA INFORMATIVA _____	37
FIGURA 3.3 – ARRASAMENTO DE ESTACAS – CORTE ESQUEMÁTICO _____	40
FIGURA 3.4 – ARRASAMENTO DE ESTACAS – ESTACA ARRASADA _____	40
FIGURA 3.5 – “PALET” DE MADEIRA _____	41
FIGURA 3.6 – FORNECIMENTO DE VIDRO _____	41
FIGURA 3.7 – AÇO CORTADO E DOBRADO _____	42
FIGURA 3.8 – PILARES COM ALTURA VARIÁVEL _____	43
FIGURA 3.9 – BAIAS DE ARMAZENAMENTO DE RESÍDUOS _____	45
FIGURA 3.10 – COBERTURA EM FIBROCIMENTO _____	48
FIGURA 3.11 – FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS: AGREGADOS E CONCRETO _____	50
FIGURA 3.12 – PEDRA BRITADA E RESÍDUO DE CONCRETO _____	51
FIGURA 3.13 – PENEIRAMENTO DO RESÍDUO DE ARGAMASSA _____	52
FIGURA 3.14 – AREIA E RESÍDUO DE ARGAMASSA _____	52
FIGURA 3.15 - QUARTEAMENTO E PESAGEM – MATERIAL GRAÚDO _____	53
FIGURA 3.16 - JOGO DE PENEIRAS SOBRE EQUIPAMENTO VIBRATÓRIO _____	53
FIGURA 3.17 - GRANULÔMETRO A LASER _____	54
FIGURA 3.18 – CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS AGREGADOS _____	55
FIGURA 3.19 – EQUIPAMENTO DE BRITAGEM _____	56
FIGURA 3.20 – EQUIPAMENTO PARA QUARTEAMENTO DE AMOSTRAS _____	56
FIGURA 3.21 – EQUIPAMENTO PARA PULVERIZAÇÃO DE AMOSTRAS _____	57
FIGURA 3.22 - MATERIAL ANTES E DEPOIS DA PULVERIZAÇÃO _____	57
FIGURA 3.23 - PREPARAÇÃO DE LÂMINAS PARA DRX _____	58
FIGURA 3.24 - DIFRATÔMETRO DE RAIOS-X _____	58
FIGURA 3.25 – ENSAIO DE REATIVIDADE POTENCIAL _____	59
FIGURA 3.26 – BALANÇA UTILIZADA NA PESAGEM DOS MATERIAIS _____	61
FIGURA 3.27 - ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES _____	65
FIGURA 3.28 – ENSAIO DE PERMEABILIDADE _____	66

FIGURA 4.1 – GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE ARGAMASSA NOS AMBIENTES	68
FIGURA 4.2 – RESÍDUO DE FIBROCIMENTO	70
FIGURA 4.3 – RESÍDUO DE MADEIRA	70
FIGURA 4.4 – CURVA GRANULOMÉTRICA DA PEDRA BRITADA E RESÍDUO DE CONCRETO	78
FIGURA 4.5 – CURVA GRANULOMÉTRICA DA AREIA TIPO I, AREIA TIPO II E RESÍDUO DE ARGAMASSA	82
FIGURA 4.6 – MORFOLOGIA – AREIA E RESÍDUO DE ARGAMASSA	88
FIGURA 4.7 – RESÍDUO DE ARGAMASSA	88
FIGURA 4.8 – MORFOLOGIA – PEDRA BRITADA E RESÍDUO DE CONCRETO	89
FIGURA 4.9 - TERMOGRAVIMETRIA DO RESÍDUO DE ARGAMASSA	89
FIGURA 4.10 – DRX: AREIA E RESÍDUO DE ARGAMASSA	91
FIGURA 4.11 – DRX: PEDRA BRITADA E RESÍDUO DE CONCRETO	92
FIGURA 4.12 – RESULTADO DO ENSAIO DE REATIVIDADE DA PEDRA BRITADA	93
FIGURA 4.13 – RESULTADO DO ENSAIO DE REATIVIDADE DA AREIA	93
FIGURA 4.14 – RESULTADO DO ENSAIO DE REATIVIDADE DO RESÍDUO DE ARGAMASSA	94
FIGURA 4.15 – RESULTADO DO ENSAIO DE REATIVIDADE DO RESÍDUO DE CONCRETO	94
FIGURA 4.16 – RESISTÊNCIA X TEMPO – CONCRETO 33%	96
FIGURA 4.17 – RESISTÊNCIA X TEMPO – CONCRETO 66%	97
FIGURA 4.18 – CONCRETO MOLDADO COM RESÍDUOS - VAZIOS	98
FIGURA 4.19 – PERMEABILIDADE DO CONCRETO GERADO COM RESÍDUO DE ARGAMASSA	98
FIGURA 4.20 – PERMEABILIDADE DO CONCRETO GERADO COM RESÍDUO DE CONCRETO	99

## LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 – FUNCIONÁRIOS E GRAU DE CONHECIMENTO	38
TABELA 3.2 - CARACTERIZAÇÃO DO RCC	39
TABELA 3.3 - ESCOLA CARLOS DRUMMOND DE ANDRADE - NECESSIDADE DE CRIAÇÃO DE BAIAS	46
TABELA 3.4 – VALORES ATRIBUÍDOS	55
TABELA 3.5 FRAÇÕES DE AGREGADO RECICLADO UTILIZADAS NO CONCRETO	61
TABELA 3.6 - TRAÇO BASE	62
TABELA 3.7 – TRAÇO CONCRETO 100%	62
TABELA 3.8 – TRAÇO CONCRETO 66%	62
TABELA 3.9 – TRAÇO CONCRETO 33%	62
TABELA 3.10 – TRAÇO ARGAMASSA 100%	62
TABELA 3.11 – TRAÇO ARGAMASSA 66%	62
TABELA 3.12 – TRAÇO ARGAMASSA 33%	63
TABELA 3.13 – TRAÇO ARGAMASSA 33% CONCRETO 100%	63
TABELA 3.14 – TRAÇO ARGAMASSA 33% CONCRETO 66%	63
TABELA 3.15 – TRAÇO ARGAMASSA 33% CONCRETO 33%	63
TABELA 3.16 – TRAÇO ARGAMASSA 66% CONCRETO 100%	63
TABELA 3.17 – TRAÇO ARGAMASSA 66% CONCRETO 66%	63
TABELA 3.18 – TRAÇO ARGAMASSA 66% CONCRETO 33%	63
TABELA 3.19 – TRAÇO ARGAMASSA 100% CONCRETO 100%	64
TABELA 3.20 – TRAÇO ARGAMASSA 100% CONCRETO 66%	64
TABELA 3.21 – TRAÇO ARGAMASSA 100% CONCRETO 33%	64
TABELA 4.1 - QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS DE CONCRETO	67
TABELA 4.2 - MASSA MÉDIA DOS CARRINHOS DE CERÂMICAS	68
TABELA 4.3 - DETERMINAÇÃO DA TAXA DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE ARGAMASSA	69
TABELA 4.4 - QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS DE MADEIRA	71
TABELA 4.5 – QUANTIFICAÇÃO DE RESÍDUOS DE PAPEL E PLÁSTICO	72
TABELA 4.6 – GERAÇÃO DE RESÍDUOS EM KG/M²	72
TABELA 4.7 – COMPARAÇÃO DE GERAÇÃO COM REFERÊNCIAS NACIONAIS	73

TABELA 4.8 – COMPARAÇÃO COM REFERÊNCIA INTERNACIONAL	74
TABELA 4.9 – AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO PROGRAMA	75
TABELA 4.10 – VALOR AGREGADO PELA REUTILIZAÇÃO	75
TABELA 4.11 – VALOR AGREGADO PELA NÃO-REMOÇÃO E NÃO-DISPOSIÇÃO	76
TABELA 4.12 – ECONOMIA GERADA PELA APLICAÇÃO DO PGRCC	76
TABELA 4.13 – GRANULOMETRIA DA PEDRA BRITADA	77
TABELA 4.14 – GRANULOMETRIA DOS RESÍDUOS DE CONCRETO	78
TABELA 4.15 – GRANULOMETRIA DA AREIA TIPO I	79
TABELA 4.16 – GRANULOMETRIA DA AREIA TIPO II	80
TABELA 4.17 – GRANULOMETRIA DOS RESÍDUOS DE ARGAMASSA	81
TABELA 4.18 – MORFOLOGIA DA AREIA	83
TABELA 4.19 – MORFOLOGIA DO RESÍDUO DE ARGAMASSA	84
TABELA 4.20 – MORFOLOGIA DA PEDRA BRITADA	85
TABELA 4.21 – MORFOLOGIA DO RESÍDUO DE CONCRETO	86
TABELA 4.22 – MORFOLOGIA DOS MATERIAIS ANALISADOS	87
TABELA 4.23 – COMPONENTES PRÉ - IDENTIFICADOS NA TERMOGRAVIMETRIA	90
TABELA 4.24 – COMPONENTES IDENTIFICADOS PELA DRX	90
TABELA 4.25 - RESISTÊNCIAS ATINGIDAS	95
TABELA 4.26 - RESISTÊNCIAS A 7, 14 E 28 DIAS	96
TABELA 4.27 - CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS E DO CONCRETO	101



## **LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
a/c	Fator água cimento
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado à Quente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DPNM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DRX	Difração de Raios-X
EPS	Poliestireno expandido
F <sub>cj</sub>	Resistência média do concreto
F <sub>ck</sub>	Resistência característica do concreto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MTR	Manifesto de Transporte de Resíduos
PGRCC	Programa de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil
RCC	Resíduo de Construção Civil
RCD	Resíduo de Construção e Demolição
SMMA	Secretaria Municipal do Meio Ambiente
TG	Termogravimetria
WAMBUCO	Waste Manual for Building Constructions



## LISTA DE UNIDADES

mm	milímetro
cm	centímetro
m	metro
m <sup>2</sup>	metro quadrado
m <sup>3</sup>	metro cúbico
L	litro
g	grama
kg	quilograma
t	tonelada
kg/m <sup>2</sup>	quilograma por metro quadrado
tf/m <sup>3</sup>	tonelada força por metro cúbico
kN	quilonewtons
MPa	megapascal

# SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b>	<b>1</b>
<b>RESUMO</b>	<b>3</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>5</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b>	<b>9</b>
<b>LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS</b>	<b>11</b>
<b>LISTA DE UNIDADES</b>	<b>13</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>17</b>
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>21</b>
2.1 RESÍDUOS	21
2.2 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	22
2.3 CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO	27
2.4 CARACTERÍSTICAS DA ARGAMASSA	29
2.5 REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	30
2.6 LEGISLAÇÃO	33
<b>3. METODOLOGIA</b>	<b>36</b>
3.1 ÁREA DE ESTUDO	36
3.2 PARTE 1 – APLICAÇÃO DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS	37
3.2.1 PALESTRA INFORMATIVA	37
3.2.2 PLANEJAMENTO	38
3.2.1.1 Caracterização dos RCC	39
3.2.1.2 Redução da geração de RCC	39
3.2.1.3 Reutilização dos RCC	43
3.2.1.4 Segregação dos RCC	44
3.2.3 IMPLANTAÇÃO	44
3.2.4 QUANTIFICAÇÃO	46
3.2.4.1 Concreto	47
3.2.4.2 Cerâmica	47
3.2.4.3 Argamassa	48
3.2.4.4 Brita, areia, saibro	48
3.2.4.5 Fibrocimento	48
3.2.4.6 Tinta, impermeabilizante, madeira	49

3.2.4.7	Papel e plástico	49
3.2.4.8	PVC, acrílico, metais, vidro	49
3.2.5	MONITORAMENTO	49
3.3	PARTE 2 – METODOLOGIA DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS: AGREGADOS E CONCRETO	50
3.3.1	SELEÇÃO DO MATERIAL	51
3.3.2	CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS	52
3.3.2.1	Análise Granulométrica	52
3.3.2.2	Análise Morfológica das Partículas	54
3.3.2.3	Análise Termogravimétrica	55
3.3.2.4	Ensaio de Difração de Raios-X	57
3.3.2.5	Reatividade Potencial	59
3.3.3	CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO	60
3.3.3.1	Dosagem do concreto	60
3.3.3.2	Verificação da resistência à compressão simples	64
3.3.3.3	Permeabilidade	65
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
4.1	PARTE 1 – APLICAÇÃO DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS	67
4.1.1	QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS	67
4.1.1.1	Concreto	67
4.1.1.2	Cerâmica	68
4.1.1.3	Argamassa	68
4.1.1.4	Fibrocimento	69
4.1.1.5	Madeira	70
4.1.1.6	Papel e plástico	71
4.1.1.7	Outros resíduos	72
4.1.2	COMPARAÇÃO DA QUANTIDADE DE RESÍDUOS GERADA NA OBRA COM REFERÊNCIAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS	73
4.1.3	AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO PGRCC	74
4.1.4	AVALIAÇÃO DA ECONOMIA DA UTILIZAÇÃO DO PGRCC	75
4.2	PARTE 2 – METODOLOGIA DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS: AGREGADOS E CONCRETO	77
4.2.1	CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS	77
4.2.1.1	Análise granulométrica	77
4.2.1.2	Morfologia	82
4.2.1.3	Termogravimetria	89

4.2.1.4 Difração de Raios - X	90
4.2.1.5 Reatividade Potencial	92
4.2.2 CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO	95
4.2.2.1 Verificação da resistência a compressão simples	95
4.2.2.2 Permeabilidade	98
4.2.3 CORRELAÇÃO ENTRE AS CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS E AS CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO	100
<b>5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b>	<b>103</b>
<b>6. REFERÊNCIAS</b>	<b>105</b>

# 1. INTRODUÇÃO

## VISÃO GERAL DO PROBLEMA

A construção civil é uma das indústrias que mais utiliza recursos naturais e é, também, a maior geradora de resíduos, sendo que a tecnologia construtiva adotada no Brasil favorece o desperdício de materiais.

Um grande problema relacionado à construção civil é a geração de resíduos. Os resíduos de construção e demolição (RCD) ocupam grande volume para disposição final. Considerando que 13% das cidades brasileiras pesquisadas no censo de saneamento possuem aterros sanitários, 7% possuem aterros especiais e que, apenas, 5% possuem usinas de reciclagem, deve-se propor e implementar métodos de tratamento de resíduos (IBGE, 2000).

A destinação dos RCD não é o único problema ambiental da construção civil, a exploração de matérias-primas também causa grandes impactos ambientais.

Estimativas para 2006 previram o consumo de  $212 \times 10^6$  t de areia de  $146 \times 10^6$  t de pedra britada, totalizando o consumo destes agregados em 1,9 t/hab/ano (DNPM, 2007), utilizados para a produção do concreto, de argamassas, de lastros, entre outros. Estes agregados naturais representam recursos não - renováveis e sua exploração causa impactos ambientais.

A obtenção da areia, um dos agregados muito utilizados na construção civil, se dá pela exploração de leitos de rios, o que causa impactos ambientais, e, como consequência, a degradação do curso d'água devido a retirada da camada vegetal. Os órgãos ambientais têm restringido esta atividade, entretanto, a areia ainda possui um custo de aquisição muito competitivo, pois o extrator não paga pela matéria-prima, somente pela atividade de extração e transporte. Portanto, devido ao baixo custo torna-se difícil a substituição deste material por outro de menor ou igual valor agregado. A exploração da pedra britada, outro agregado importante, é realizada pelo desmonte da rocha com explosivos e posterior britagem.

Visando a diminuição dos impactos ambientais da exploração de minerais para a construção civil, existem estudos para a substituição tanto da areia quanto da pedra britada por materiais alternativos que não causem impactos ambientais.

Atualmente, os RCDs são reutilizados com função não estrutural, por isso deve-se caracterizar as frações deste resíduo e reutilizá-los substituindo, parcialmente ou totalmente, a areia e a brita. Assim, podem tornar-se agregados substitutos de baixo custo, sendo então competitivos economicamente e gerando um grande benefício ambiental que é a sua não-disposição.

Como especificado pela Resolução CONAMA nº 307/02 (CONAMA, 2002), que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil (RCC), os quais devem ser seguidos pelos geradores de resíduos, a disposição dos RCDs não pode ser feita em aterros sanitários, somente em aterros especiais. Considerando que apenas 17,32% dos municípios brasileiros têm aterros sanitários e 9,66% possuem aterros de resíduos especiais (IBGE, 2000) pode-se inferir que grande parte dos RCD é disposta indevidamente. Como consequência dessa resolução alguns municípios criaram decretos que regulamentam Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, isto porque esta resolução estabelece que a responsabilidade dos municípios a criação, implantação e acompanhamento das diretrizes especificadas nos decretos municipais. Tais decretos tornam obrigatório aos geradores a gestão, incluindo reciclagem, reaproveitamento e destinação de resíduos.

Segundo Souza (2005), em Curitiba, existiam 135 empresas de transporte de resíduos cadastradas na Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA). No período do estudo, do total, somente 15 estavam entregando o manifesto de transporte de resíduos (MTR). A partir destes dados, e de cálculos lineares, estimou-se que o total de resíduos transportados no município de Curitiba chegava a, aproximadamente, 44.000 m<sup>3</sup> por mês. Das 135 empresas cadastradas, somente 58% colaboraram com o estudo, e 23% destas empresas declararam estar depositando os resíduos em terrenos baldios, sendo que os outros 42% não foram localizados. Apenas na bacia do Atuba-Bacacheri, em Curitiba-PR, com a extensão de 12,20 km existem, aproximadamente, 14 pontos de disposição irregular de RCD.

Ainda em Curitiba, devido ao Decreto nº 1.551/06 (CURITIBA, 2006), a disposição dos resíduos no aterro sanitário do município tornou-se mais onerosa, pois traz o custo por tonelada de entulho disposto. Esta condição acaba por agravar a situação exposta por Souza (2005), pois as transportadoras regulamentadas repassam tal preço aos clientes, enquanto outras transportadoras deixam de dispor os resíduos no aterro, aumentando os pontos de disposição ilegal.



Na tentativa de contribuir com a melhoria da gestão dos RCC, este estudo abordou a questão dos resíduos sólidos urbanos, especificamente o entulho de obras, visando a sua reciclagem e reutilização, bem como o transporte e a sua destinação final, de acordo com critérios técnicos e de procedimentos de boas praticas no canteiro de obra.

Portanto, a elaboração, o gerenciamento de resíduos e a reutilização estrutural de resíduos passam a ter importância não apenas ambiental, mas também legal.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GERAL

Gerenciar os resíduos de uma obra com 4.000m<sup>2</sup> e gerar concreto com finalidade estrutural a partir do processamento de resíduos de concreto e argamassa.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atingir o objetivo geral desta pesquisa os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- analisar a quantidade de resíduos gerada pela obra estudada comparando-os com referências nacionais e internacionais;
- avaliar a eficiência do programa de gerenciamento de resíduos implantado;
- analisar financeiramente os resultados da implementação do programa;
- caracterizar os agregados reciclados por análise granulométrica, análise morfológica, análise termogravimétrica, análise da reatividade potencial e por difração de raios X;
- caracterizar a resistência estrutural de concretos elaborados com agregados de argamassa reutilizada;
- caracterizar a resistência estrutural de concretos elaborados com agregados de concreto reutilizado;
- caracterizar a permeabilidade de concretos elaborados com agregados reciclados.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 RESÍDUOS**

Todo processo econômico gera resíduos. Mesmo sendo considerado inservível por grande parcela da sociedade, os resíduos possuem, aproximadamente, 40% de materiais recicláveis. Esta parte reciclável é atrativa econômica, energética ou ambientalmente (FIGUEIREDO, 1994).

A gestão de resíduos sólidos se enquadra nas atividades de saneamento básico, pois existe a interdependência entre este, a saúde e o meio ambiente. Portanto, as ações de gerenciamento de resíduos da construção civil devem ser inter-relacionadas para contribuir com a melhoria da qualidade ambiental proporcionada a população.

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2000), dos 5.475 municípios brasileiros, 489 têm entre 50 e 70% dos seus resíduos coletados, 728 entre 70 e 80%, 771 entre 80 e 90%, 525 entre 90 e 99% e 1.814 têm 100% coletados. Também, foi identificado que 194 municípios não tinham a informação ou não declararam qual a porcentagem coletada.

A construção civil, devido às práticas utilizadas, gera grandes volumes de resíduos, e isto pode ser observado desde a produção de insumos, que caracteriza a geração anterior a própria etapa construtiva.

A construção e a reforma de edificações, demolições, obras viárias, materiais de escavação, são origens de resíduos da construção civil. A investigação da sua origem é importante para a quantificação e a qualificação dos volumes gerados. O resíduo gerado em novas construções provém de quatro fases, a fundação, a estrutura e alvenaria, o revestimento e o acabamento, sendo que os resíduos devem ser diferenciados em função do tempo, da atividade e da quantidade gerada.

Por outro lado, o resíduo de reformas é gerado principalmente pela falta de conhecimento, pois as quebras de paredes e outros elementos da edificação são realizadas em processos simples, sendo alto o volume final de resíduos. A composição destes resíduos pode ser comparada a de resíduos de demolição, isto porque os trabalhos de reforma se assemelham aos trabalhos de demolição. Nas demolições, o potencial de reciclagem depende do processo construtivo e da qualidade da obra, entretanto, a quantidade independe destes fatores.

## 2.2 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

A Resolução CONAMA nº 307/02 (CONAMA, 2002, p.01) define RCD como aqueles materiais

provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.

Esta resolução define, também, o gerenciamento de resíduos como

o sistema de gestão que visa reduzir, reutilizar ou reciclar resíduos, incluindo planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos e recursos para desenvolver e implementar as ações necessárias ao cumprimento das etapas previstas em programas e planos.

De acordo com Monteiro *et al* (2001), no Brasil, a geração de RCD é de, aproximadamente, 300 kg/m<sup>2</sup> a partir de novas edificações, enquanto países desenvolvidos geram 100 kg/m<sup>2</sup>. Em cidades com 500 mil ou mais habitantes os RCD representam, aproximadamente, 50% do peso dos resíduos sólidos urbanos coletados.

Para diagnosticar a geração de resíduos de construção civil nas cidades brasileiras utilizam-se dados de estimativas de área construída, de quantificação de volumes por empresas coletoras, do monitoramento de descargas nas áreas de disposição final dos resíduos de construção civil. As duas primeiras estimativas permitem uma quantificação confiável e pode ser utilizada em todo município que possui cadastro de construções licenciadas (PINTO, 1999).

A composição dos resíduos da construção civil brasileira gerados em uma obra é, basicamente, constituída por argamassa, concreto e blocos de concreto, além de madeiras, plásticos, papel e papelão. Além destes, também, podem ser gerados resíduos classificados como perigosos e não inertes.

Quando se trata da construção civil em outros países, a composição dos seus resíduos muda, sendo muito presentes, além do concreto e blocos de concreto, o gesso e o EPS utilizado para isolamento, atingindo geração de 30,77 kg/m<sup>2</sup>. (BOHNE; BERGSDAL; BRATTEBO, 2005). Segundo Kimbert (2002), esta taxa é de 25 kg/m<sup>2</sup> para novas construções e de 320 kg/m<sup>2</sup> para demolições.

Para todos estes resíduos, o potencial de contaminação pode ser determinado de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR nº 10.004/04, nº 10.005/04 e nº 10.006/04 (ABNT, 2004a; ABNT, 2004b; ABNT, 2004c). De acordo com as especificações da NBR nº 10.004/04 (ABNT, 2004a) os resíduos são classificados em função das características de periculosidade ou toxicidade, em classe I, classe II A e II B. Os resíduos classe I são denominados perigosos, apresentam riscos à saúde pública, provocam efeitos adversos ao meio ambiente quando manuseados ou dispostos de forma inadequada, devido as suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade. Os resíduos classe II A, são denominados não inertes, e podem estar relacionados a riscos à saúde ou ao meio ambiente devido às características de combustilidade, biodegradabilidade ou solubilidade. Os resíduos classe II B, são considerados inertes e não apresentam riscos à saúde ou ao meio ambiente, quando submetidos a testes de solubilização, seus constituintes não são solubilizados a maiores taxas do que as permitidas pelos padrões de potabilidade da água (ABNT, 2004a).

O tratamento de resíduos deve definir uma série de ações para reduzir a quantidade ou seu potencial poluidor. Considerando o entulho da construção civil, classificado como Classe II B – inerte (ABNT, 2004a), seu tratamento está relacionado à redução da quantidade. O tratamento mais difundido, além da redução, é a segregação, trituração e reutilização. Por sua vez, a forma mais difundida de reutilização tem sido na construção de rodovias, como base ou sub-base e em preenchimentos não estruturais de edificações.

A diminuição de riscos de impactos ambientais e a redução de custos na construção civil são fatores que tornam a reciclagem uma prática sustentável para o setor (ÂNGULO; ZORDAN; JOHN, 2001).

A disposição final em aterros ou bota-fora de RCC não é uma opção adequada, pois estes resíduos possuem materiais recicláveis e ocupam grandes volumes. Esta opção é recomendada apenas quando os aterros sanitários não possuem material de cobertura.

Estudos para o desenvolvimento e aplicação de boas práticas e redução da geração de resíduos têm sido desenvolvidos em vários países. A União Européia, no âmbito do programa “Crescimento Competitivo e Sustentável” criou e desenvolveu o projeto “WAMBUCO – Manual Europeu de Resíduos da Construção de Edifícios”

(LIPSMEIER; GÜNTHER, 2002). Este manual é direcionado a proprietários de obra, gestores de projeto, empresas de construção, arquitetos, empresas de recolhimento e tratamento de resíduos e produtores e revendedores de materiais de construção e apresenta cálculos de resíduos gerados para uma edificação com base nos índices de resíduos específicos da construção e do edifício. Também, apresenta um guia para a gestão de resíduos, em que aborda o projeto de construção nova e de reconstrução. Para este manual foi desenvolvido um programa de formação em treinamento de equipes com alguns métodos de ensino que podem ser utilizados, formas de motivação e suportes pedagógicos

No guia WAMBUCO (LIPSMEIER; GÜNTHER, 2002) são salientadas tecnologias para a prevenção/minimização de resíduos pelo tipo de material utilizado, como madeira, telhas, tinta branca de chumbo, tijolos, cerâmicas, entulhos e águas de construção. Ainda, cita os aspectos de resíduos na restauração, conservação ou demolição de edifícios antigos.

Outro projeto europeu, o “IRMA – Descontaminação e Reabilitação de Edificações, Estruturas e Materiais na Renovação Urbana” (GARCIA; LAURITZEN, 2006) foi desenvolvido por uma parceria entre países da União Européia e tem como objetivo desenvolver e implementar um “Conceito Urbano”, trazendo tecnologias e processos juntamente com ferramentas de auxílio à decisão e de gerenciamento para a sustentabilidade da renovação urbana. O conceito urbano compõe uma ferramenta de tecnologias e processos, focalizando em edificações contaminadas para reduzir o risco para o ambiente e aproveitar as edificações e materiais. As ferramentas desenvolvidas por este conceito têm como guias a minimização do risco aos ocupantes dos edifícios, saúde e segurança dos trabalhadores de construção e demolição, preservação dos edifícios e redução do desperdício.

De acordo com o projeto IRMA (GARCIA; LAURITZEN, 2006), os objetivos técnicos e científicos do conceito urbano consistem de uma seqüência de medidas para identificar e controlar a contaminação de estruturas e edifícios em que:

- as substâncias perigosas e a poluição dos edifícios são identificadas e classificadas;
- as emissões tóxicas são impedidas;
- os edifícios e as estruturas existentes e poluídos podem ser reabilitados e reutilizados;

- os volumes de resíduos de poluição e demolição poderão ser reciclados;
- o volume de geração de resíduos poderá ser reduzido;
- os materiais provenientes da demolição poderão ser recuperados, completamente ou seletivamente, conservando recursos naturais e evitando a necessidade de disposição final.

Este projeto apresenta o levantamento dos dados de contaminação de edifícios e o desenvolvimento de banco de dados, a avaliação de edifícios e estruturas contaminadas, o desenvolvimento de técnicas para as fases de final de vida de edificações e estruturas, os manuais para o projeto de demolição e aplicação de produtos provenientes de edificações e estruturas demolidas, o desenvolvimento do conceito urbano para descontaminação e reabilitação de edificações, estruturas e materiais, avaliação do conceito urbano para cidades européias, implementação de relatórios, recomendação e manuais, e gerência de projeto.

Outro exemplo, o Guia de Boas Práticas, desenvolvido pela Universidade de Cardiff em 2003 (GREENWOOD, 2003), no Reino Unido, apresenta a hierarquia de minimização de resíduos composta por etapas de não-geração, redução, reúso, reciclagem e disposição final. Esta hierarquia pode ser estendida a qualquer programa de gerenciamento e minimização de resíduos. O guia traz informações abordando a definição de resíduos, a identificação das causas da geração de resíduos, a necessidade de minimizar resíduos e iniciativas de minimização. Aborda a minimização da geração de resíduos pela proposta de ações do cliente, do projetista e do executor. O plano de minimização é definido pela avaliação do desperdício e oportunidades de minimização, execução, monitoramento e modificação do projeto, exigências legais como proteção ambiental, gerenciamento de resíduos, controle de ruídos, gerenciamento da água, conservação natural, poluição, avaliação do impacto ambiental, sistema de gerência ambiental, legislação ambiental e, por último, estudos de caso.

Seguindo com o estudo do gerenciamento de resíduos, o relatório sobre práticas de gerenciamento de RCD e seus impactos econômicos, apresentado pelo grupo Symonds (1999), teve como objetivo o gerenciamento de resíduos pela hierarquia de redução, reúso, reciclagem ou recuperação e a disposição final. Neste trabalho, os RCD são classificados e relacionados com sua origem e características, considera também sua toxicidade e necessidade de armazenamento especial. Este

relatório também apresenta considerações econômicas e administrativas para dirigir a decisão pelo reuso ou reciclagem, sobre boas práticas em diferentes locais, estimativas de geração de resíduos em diferentes países da União Européia e identifica as práticas adotadas que influenciam a geração de resíduos. Conclui que para haver uma transformação no gerenciamento de RCD deve-se ter:

- melhor controle dos aterros deste tipo de resíduo;
- custo financeiro significativo para a disposição final;
- custos mais significativos para disposição final de resíduos perigosos ou misturados;
- oportunidade de tratamento da fração inerte e volumosa dos resíduos antes do reuso ou reciclagem, e;
- aceitação dos usuários referente a utilização de materiais reciclados.

Portanto, se a geração de RCD não pode ser eliminada, o gerenciamento de resíduos deve ser estudado e executado, devendo ser adotadas práticas de minimização da geração e de reaproveitando da sua porção reciclável.

Do levantamento bibliográfico realizado, é possível perceber que os planos de gerenciamento de resíduos são similares, por exemplo, na Grécia, foi elaborado um plano de gerenciamento de RCD, que tem como princípios (FATTA *et al.*, 2003):

- a sustentabilidade e a viabilidade;
- a prevenção e a minimização dos resíduos;
- o princípio poluidor-pagador;
- a responsabilidade do produtor;
- a proteção de recursos naturais;
- a minimização da periculosidade dos resíduos;
- a minimização da quantidade de resíduos estocados temporariamente;
- o aumento do reuso, reciclagem e recuperação;
- a promoção de investimentos no meio ambiental;
- a disposição final adequada e;
- o lançamento de campanhas de conscientização e de programas educacionais.

No Brasil, é importante lembrar que o programa HABITARE propõe a utilização de resíduos na construção habitacional (JOHN; ÂNGULO, 2003). Quando trata de uma metodologia para desenvolvimento de reciclagem de resíduos conclui



que transformar resíduos em produtos aumenta a sustentabilidade social e ambiental, mas devem ser elaboradas pesquisas para reduzir riscos de saúde e ambientais na utilização destes resíduos.

Ao observar a geração de resíduos no Brasil, os órgãos municipais não podem retardar soluções em relação aos problemas gerados devido ao elevado volume de resíduos, por isso Pinto (1999) propôs a Metodologia para a Gestão Diferenciada dos RCD. Segundo este autor, “a ampla facilitação do descarte, a diferenciação integral dos resíduos captados e a adoção da reciclagem como forma de valorização de resíduos constituem um útil e eficaz instrumental para controle dos resíduos de forma sustentável”. (PINTO, 1999, p.173).

Segundo Tozzi (2007), a aplicação do gerenciamento de resíduos pode proporcionar a construtoras e ao meio ambiente vantagens significativas. Ao estudar duas obras com características construtivas semelhantes e características gerenciais diferenciadas, mostrou que a geração e disposição de resíduos na obra sem plano de gerenciamento foi 1,4 vez maior do que na obra que possuía tal plano. Este autor também abordou a questão econômica, mostrando que a obra com gerenciamento de resíduos tornou-se mais atrativa pois envolveu redução de gastos na compra de matéria-prima e na remoção de entulhos.

## **2.3 CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO**

Um importante material utilizado na elaboração de estruturas na construção civil é o concreto. Os concretos utilizados podem ser:

- o CBUQ – concreto betuminoso usinado à quente, que utiliza em sua composição brita, areia, adições e o ligante, que pode ser o asfalto ou asfalteno. É caracteristicamente flexível e utilizado em pavimentação;
- o concreto cimentício apresenta em sua composição brita, areia, adições e aglomerante, que é o cimento. Sua principal característica é a rigidez e apresenta utilização abrangente, podendo ser encontrado na infra-estrutura e superestrutura de edificações, pavimentações, pisos, entre outros.

O concreto que será apresentado neste estudo é o concreto cimentício, o concreto de cimento Portland, caracteriza-se por ser poroso e heterogêneo e é composto por três fases que são: o meio ligante, os agregados e a zona de transição (NEVILLE, 1997).

- o meio ligante é composto pela mistura da água com o cimento, denominada pasta de cimento. A função desta fase é preencher vazios, envolvendo agregados e possibilitando a trabalhabilidade do concreto (manuseio).
- os agregados são classificados como grãos e miúdos, normalmente são mais resistentes que as outras fases mas não são diretamente ligados à resistência do concreto.
- a zona de transição é localizada entre a pasta de cimento e o agregado grão, e se forma pelo acúmulo de água ao redor do agregado. É a fase mais fraca do concreto.

No concreto, o cimento tem a função de aglomerante, tal propriedade é caracterizada pelo contato com a água, em que o cimento gera produtos com características de pega e endurecimento (NEVILLE, 1997).

Um importante fator na elaboração do concreto é a relação água-cimento (a/c), pois o ajuste inadequado desta relação prejudicará a sua resistência. O processo de cura influencia na formação da microestrutura da pasta de cimento. Neste processo, o tempo e a umidade têm relação direta e influenciam nas propriedades mecânicas e físicas do concreto. Quanto maior o tempo de cura num ambiente próprio, melhor será a resistência do concreto, com interferência positiva na sua permeabilidade e na sua durabilidade (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Outro fator importante na elaboração do concreto é a composição granulométrica, caracterizada pela quantificação das partículas de agregado em frações. Tais frações possuem partículas com determinadas dimensões, delimitadas por peneiras padronizadas (NEVILLE, 1997). A distribuição granulométrica influencia a quantidade de água que deve ser utilizada no concreto, influenciando diretamente a resistência do concreto.

Do concreto produzido, entre 60 e 80% do seu volume são ocupados pelos agregados, que são considerados materiais de enchimento, que podem prejudicar a resistência do concreto e comprometer a sua durabilidade, caso apresentem propriedades indesejáveis. Os agregados grãos são definidos como aqueles que ficam retidos em peneira de 4,8 mm, enquanto os que passam são denominados agregados miúdos (NEVILLE, 1997).

Os agregados são, ainda, classificados em leves, normais e pesados. Agregados leves são utilizados para confeccionar concretos leves, e sua massa

específica é menor do que  $2.000 \text{ kg/m}^3$ , os normais são os mais utilizados, e a massa específica varia de  $2.000$  a  $3.000 \text{ kg/m}^3$ , os pesados são pouco utilizados. Os agregados são os principais responsáveis pela massa específica final do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

A ligação entre a pasta de cimento e os agregados é muito importante e constitui a zona mais frágil do concreto, a zona de transição. O tamanho dos agregados, geometria, rugosidade superficial e as propriedades eletrostáticas das partículas influenciam a ligação. As ligações podem ser classificadas como mecânica, de absorção, de aderência e de atração (COUTINHO, 1999).

Microfissuras e materiais pulverulentos podem prejudicar o concreto, deixando a aderência entre a pasta de cimento e agregados fraca.

## **2.4 CARACTERÍSTICAS DA ARGAMASSA**

Segundo a NBR nº 7.200 (ABNT, 1998) argamassas são compostas por aglomerantes, água e agregados. São definidas pelo aglomerante, podendo ser de cal, de cimento ou mistas. Tem como característica elasticidade e trabalhabilidade inicial com posterior endurecimento, adquirindo resistência e durabilidade.

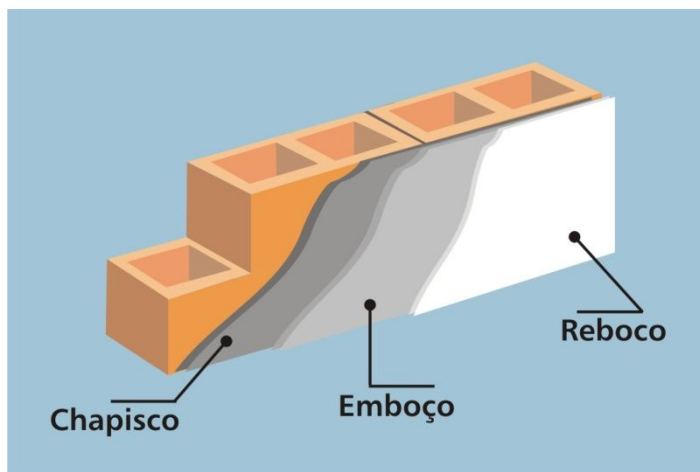
Segundo Fiorito (1994), a utilização da argamassa pode ser variada, sendo mais comum:

- assentamento de tijolos e blocos, azulejos, ladrilhos, cerâmicas e tacos;
- impermeabilização de superfícies;
- regularização, (tapar buracos, eliminar ondulações, nivelar e aprumar) paredes, pisos e tetos, e;
- trabalhos de chapisco, reboco e emboço.

As argamassas são classificadas, segundo a sua finalidade, em:

- assentamento: utilizada para união de blocos ou tijolos das alvenarias. Servem, também, para a colocação de azulejos, tacos, ladrilhos e cerâmica.
- revestimento: utilizada para revestimento de superfícies, caracterizadas pelo trabalho de chapisco, emboço e reboco. De acordo com a norma brasileira NBR 7.200/98 (ABNT, 1998) cada uma dessas camadas se diferencia pelo traço e pela espessura, de acordo com sua função no revestimento. De acordo com Fiorito (1994) a espessura do

chapisco é de, aproximadamente 5 mm; a espessura do emboço varia de 20 mm a 25 mm e a do reboco é de no máximo 5 mm. Tais camadas estão ilustradas na Figura 2.1.



**FIGURA 2.1 – CHAPISCO, EMBOÇO E REBOCO**

#### DOSAGEM DAS ARGAMASSAS

Segundo Fiorito (1994), a dosagem da quantidade de cada componente das argamassas também é chamada de traço. O traço das argamassas varia de acordo com a finalidade de aplicação. A argamassa de assentamento tem seu traço variando de acordo com o material utilizado, sendo o material e traço mais comum:

- tijolos de barro maciço e blocos cerâmicos com 6 e 8 furos com traço 1:1/2:5 de cimento, cal e areia, respectivamente.

De acordo com o mesmo autor, a argamassa de revestimento tem seu traço variando de acordo com o tipo de trabalho, sendo:

- chapisco com a utilização do cimento e areia no traço 1:3;
- emboço com a utilização do cimento, cal e areia no traço 1:2:9;
- reboco com a utilização do cimento, cal e areia no traço 1:2:9.

Existem, também, argamassas prontas, para assentamento e revestimento (inclusive para rejuntamento), à venda nas lojas de material de construção. Essas argamassas que vêm embaladas em sacos, devem ser misturadas com água, na quantidade recomendada pelo fabricante, em geral impressa na embalagem.

## 2.5 REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

A Resolução CONAMA nº 307/02 (CONAMA, 2002) aborda a reutilização, reciclagem e beneficiamento de resíduos e define reutilização como a reaplicação do

resíduo, sem transformação. A reciclagem é o reaproveitamento do resíduo, após ter sido submetido à transformação e o beneficiamento submete o resíduo a processos/operações para fornecer ao resíduo condições para utilização como matéria-prima ou produto.

No Brasil existem, aproximadamente, nove instalações de beneficiamento de resíduos da construção civil, nas quais o resíduo é triturado, peneirado e estocado. Estas usinas produzem elementos de função não-estrutural como briquetes para calçada, blocos para muros e alvenaria de casas populares, agregado miúdo para revestimento, agregados para construção de meios-fios, bocas-de-lobo, sarjetas, e ainda servem como base e sub-base de rodovias (MONTEIRO *et al.*, 2001).

John e Agopyan (2000) apontam a maior reutilização destes resíduos na composição de bases e sub-bases de rodovias. Tal reutilização possui apenas um cliente, representado pelos municípios, tornando assim a implantação de usinas de beneficiamento pelo setor privado arriscado, pois o material pode tornar-se escasso e mudanças de gestão podem interferir nos pagamentos devido a produtos já fornecidos. Outro fator apontado é a não aceitação popular, pois os consumidores poderão considerar os produtos produzidos com agregados reciclados como produtos de qualidade inferior ou sem qualidade.

Um modelo de avaliação de viabilidade econômica da reciclagem de RCD foi desenvolvido baseado na realidade da Irlanda. Este modelo mostrou que existe a viabilidade quando os custos de disposição excedem os custos de transporte e processamento do resíduo. O resultado deste estudo mostra que, quanto maior a quantidade de resíduos menor será o custo de transporte e processamento (DURAN; LENIHAN; O'REGAN, 2006).

Rao, Jha e Misra (2006), citam barreiras para a utilização do agregado reciclado da construção civil, entre elas está:

- a não aceitação popular, pois a falta de conhecimento técnico da população dificulta a utilização de materiais de qualidade em função da sua origem;
- a falta de instalações apropriadas para a reciclagem pois para isso são necessários investimentos, mas devido a falta de estudos e conhecimento de consumidores não é possível prever retorno para investimentos, tornando-os não atrativos economicamente;

- a falta de tecnologias apropriadas, pois ainda não existem estudos suficientes sobre a possibilidade de utilização do agregado reciclado que garantam a segurança necessária;
- a falta de incentivo dos governos que não se interessam pelos problemas sociais e esperam até que estes estejam em situação extrema para tomar providências, entre outros.

Existem estudos que reaproveitam os RCC para compor novos concretos, segundo Parnavithana e Mohajerani (2006), o concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) produzido com agregados reciclados apresentou importantes propriedades resultando valores abaixo daqueles obtidos a partir do concreto produzido com agregados naturais. A absorção de água foi significativamente maior no concreto com agregados reciclados, obtendo valores de 4% a 5,9%, sendo que o limite é de 2 a 4% de absorção. O módulo resiliente foi significativamente menor, aumentando com o aumento da taxa de compactação. A porosidade do concreto produzido foi maior e sua densidade, conseqüentemente, menor. As propriedades volumétricas e de aderência (macro-textura) não atingiram valores em acordo com os padrões exigidos: para a utilização de agregados reciclados é preciso mais estudos.

No Kuwait, uma mistura de RCD também foi aplicada à composição do CBUQ, esperando um material no mínimo com a mesma qualidade do CBUQ com agregados naturais. Neste caso, o concreto resultante apresentou resultados abaixo do CBUQ gerado a partir de agregados naturais, mas enquadrou-se nos padrões locais exigidos para utilização, podendo ser produzido e utilizado estruturalmente (ALJASSAR; AL-FADALA; ALI, 2005).

Concretos com agregados reciclados selecionados têm sido estudados, e o seu uso em proporções dosadas corretamente não afeta a durabilidade ou resistência do concreto (VIEIRA; DAL MOLIN; LIMA, 2004).

Segundo Rakshvir e Barai (2006), a utilização de agregados reciclados proporcionam vantagens como a redução da extração de matérias primas, redução de custos de transporte, melhora nos lucros, redução de impactos ambientais. Com proporções diferentes de agregado reciclado no concreto observou-se que a resistência a compressão simples teve redução de até 10%, em relação a concretos com agregados naturais. A água absorvida pelos agregados reciclados foi superior aos agregados naturais, e deve ser considerada na elaboração do concreto.

Um outro exemplo de reciclagem e reutilização de RCD pode ser o do Parque “*Wetland*”, em Hong Kong, em que o agregado reciclado de concreto foi utilizado para a construção do centro de visitantes, galerias de exibição, teatros, lojas de souvenir, cafés, áreas de recreação de crianças, salas de aula, centros de pesquisa, totalizando, aproximadamente, 10.000 m<sup>2</sup>. O concreto de demolição foi utilizado substituindo a pedra britada e a argamassa foi utilizada substituindo a areia. O concreto com agregados reciclados atingiu valores de concretos estruturais, porém, ficaram abaixo da resistência estrutural do concreto produzido a partir de agregados naturais. Ainda na mistura, o concreto reciclado recebeu 4% a mais de cimento que o concreto convencional, portanto foi concluído que o concreto produzido a partir de agregados reciclados pode ser utilizado estruturalmente caso seja bem dosado. No caso de Hong Kong, o concreto de agregados reciclados se tornou mais caro que o concreto de agregados naturais porque para atingir a mesma resistência, concretos gerados a partir de agregados reciclados precisaram de mais cimento (POON; CHAN, 2006).

Outro agregado já utilizado na elaboração de concretos é o produzido por centrais de beneficiamento de entulhos. Nele, há mistura das frações cerâmicas, de concreto e de argamassa. Esta composição, quando utilizada em concretos, permite atingir valores estruturais, encarecendo consideravelmente sua produção. Na utilização deste material, caso seja desejada a resistência estrutural, deve-se acrescentar considerável quantidade de cimento. Estes agregados foram estudados e não podem ser utilizados com função estrutural, apresentando problemas no teor de argamassa, contaminantes, materiais pulverulentos, absorção e massa específica (ÂNGULO; JOHN, 2002).

## **2.6 LEGISLAÇÃO**

A Resolução CONAMA nº 307/02 (CONAMA, 2002) foi, a primeira no Brasil, a estabelecer diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil (RCC), disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais.

Esta resolução classifica os resíduos de acordo com sua possibilidade de reutilização, sendo:

- Classe A - reutilizáveis ou recicláveis como agregados;
- Classe B - recicláveis para outras destinações;

- Classe C - não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação;
- Classe D - perigosos oriundos do processo de construção.

Classifica os geradores como:

- pequenos geradores: geram até 5 m<sup>3</sup> de resíduos;
- grandes geradores: geram mais de 5 m<sup>3</sup> de resíduos.

Especifica, ainda, que os geradores de RCD devem seguir os objetivos usualmente presentes em projetos de gerenciamento, que são: a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final, respectivamente. Ainda, especifica que deverá ser elaborado, implementado e coordenado pelos municípios e pelo Distrito Federal o Programa de Gerenciamento de RCD. Também, estabelece diretrizes técnicas e procedimentos para pequenos geradores, que estejam em conformidade com critérios técnicos do sistema de limpeza urbana local.

Caso o gerador seja enquadrado como grande gerador deverá apresentar o Programa de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC). O PGRCC deve conter procedimentos para manejo e destinação correta dos resíduos, deve ser entregue ao poder público municipal em conjunto com o projeto de empreendimento, em seu órgão competente. Caso o empreendimento precise de licença ambiental, o PGRCC deverá ser entregue juntamente com o processo de licença ambiental e será analisado no órgão ambiental competente.

Todos os projetos deverão apresentar as seguintes etapas:

- caracterização;
- triagem;
- acondicionamento;
- transporte e;
- destinação.

No âmbito estadual da administração pública, o Estado do Paraná não possui legislação específica para RCC mas algumas cidades do estado já possuem decretos para normatizar a sua gestão. Por exemplo, o Município de Curitiba publicou em 2004 o decreto nº 1.068 (CURITIBA, 2004), que institui o regulamento do Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil do Município de Curitiba. Aborda disposições gerais, diretrizes técnicas e procedimentos, o programa integrado de gerenciamento de RCC, projetos de gerenciamento de RCC,



procedimentos para o licenciamento ambiental, cadastramento de transportadores, destinação de resíduos, ações educativas, incentivos e penalidades. Este decreto está de acordo com a resolução CONAMA nº 307/02, e define grandes geradores, como aqueles que devem entregar um PGRCC por estarem relacionados à geração de resíduos em obras com área a ser construída maior do que 600 m<sup>2</sup> ou área a ser demolida maior do que 100 m<sup>2</sup>. Atribui aos geradores e aos transportadores a responsabilidade sobre a destinação adequada dos resíduos, sendo que os resíduos devem ser segregados em áreas de transbordo, beneficiados ou aterrados em aterros de RCC licenciados pela SMMA.

Para corroborar com o Decreto nº 1.068/04 (CURITIBA, 2004), foi aprovada a Lei Ordinária nº 11.682 publicada em 2004 pela Câmara Municipal de Curitiba, que dispõe sobre o Programa Municipal de Gerenciamento de RCC em Curitiba, que adota os mesmos princípios estabelecidos pelo decreto mencionado.

Ainda em Curitiba, foi instituído o Decreto nº 1.551/06 (CURITIBA, 2006), que fixa taxa por entulhos dispostos no Aterro Sanitário de Curitiba – Caximba. As transportadoras cadastradas na SMMA, que podem utilizar este aterro, repassaram este preço aos clientes, tornando-se mais cara a remoção e disposição dos RCC.

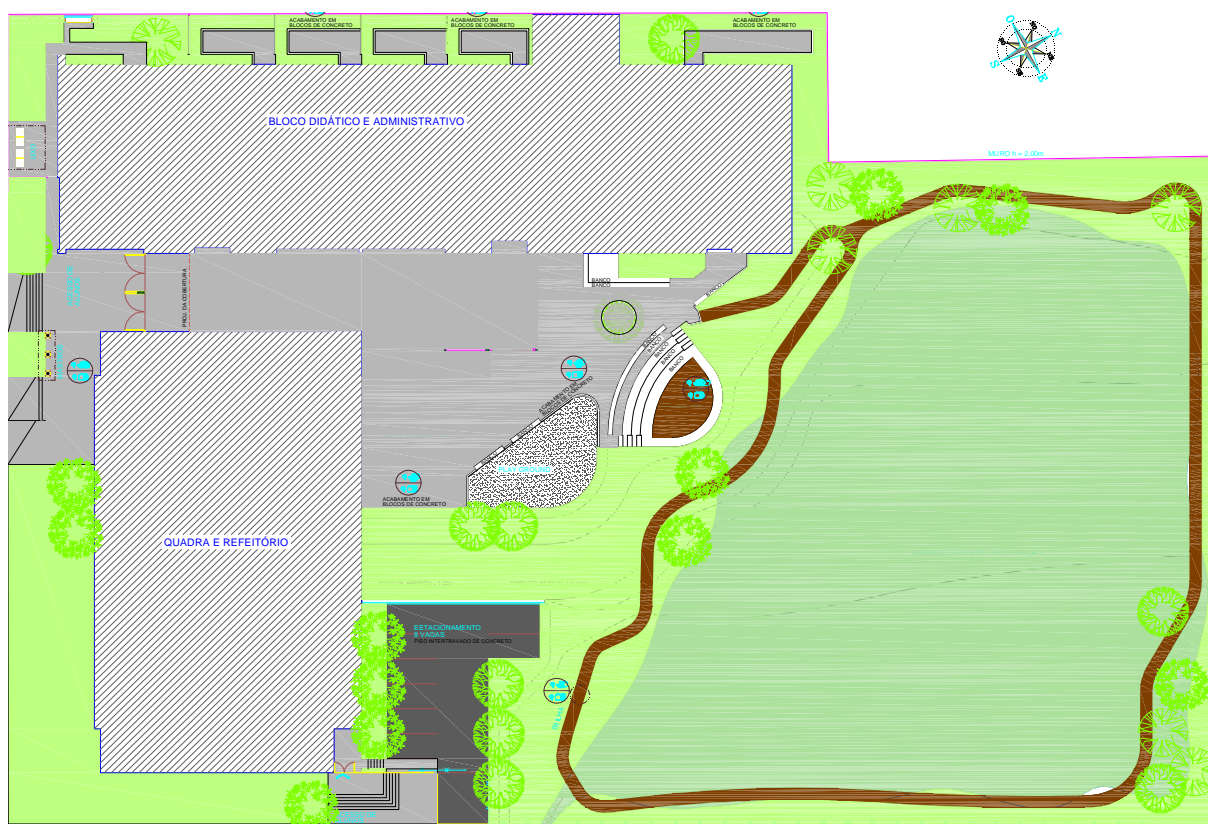
Outro exemplo no Estado do Paraná é o do Município de Ponta Grossa que publicou em 2006 o Decreto nº 1.111 (PONTA GROSSA, 2006), que aprova o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil do Município de Ponta Grossa. Tal decreto também segue a resolução CONAMA nº 307/02, entretanto é mais restritivo do que o Decreto nº 1.068/04 (CURITIBA, 2004) do Município de Curitiba, pois classifica grandes geradores como aqueles que devem entregar o Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil relacionados a áreas construídas maiores do que 300 m<sup>2</sup> ou áreas demolidas maiores do que 70 m<sup>2</sup>.

Em função do anteriormente especificado, e considerando a necessidade da identificação de condições técnicas para o reprocessamento de RCC para a produção de concreto com função estrutural, este apresenta a definição de parâmetros de qualidade e de proporções de utilização na elaboração de concretos.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

A obra selecionada foi a Escola Drummond de Andrade, em construção à rua XV de Novembro, nº 3.500, bairro Bom Retiro, Campo Largo-PR. Esta obra foi composta por bloco didático e administrativo, bloco do ginásio e refeitório, área de recreação, anfiteatro, trilha e estacionamento totalizando 4.465,45 m<sup>2</sup> (FIGURA 3.1).



**FIGURA 3.1 – ÁREA DE ESTUDO**

FONTE: Julio Fay Arquitetura (2005)

Considerando que o município de Campo Largo-PR ainda não possui legislação específica para o gerenciamento de RCC, segue apenas a resolução CONAMA 307/02, foi adotado o Decreto nº 1. 111/06 de Ponta Grossa (PONTA GROSSA, 2006), pois este decreto apresenta características mais restritivas do que o decreto municipal nº 1.064/04 (CURITIBA, 2004). Com base na legislação ambiental em vigor, a área de estudo foi caracterizada como grande geradora, para a qual é necessária a elaboração e entrega do PGRCC ao órgão municipal competente.

O concreto para testes foi elaborado na obra, pois o PGRCC contempla a reutilização de materiais na própria da obra. Foram moldados corpos-de-prova segundo a norma brasileira NBR 5.738/08 (ABNT, 2008) para seu posterior rompimento para determinação da resistência mecânica à compressão simples. Posteriormente, os corpos-de-prova foram rompidos no laboratório Bianco Tecnologia do Concreto, seguindo a norma brasileira NBR 5.739/07 (ABNT, 2007).

## **3.2 PARTE 1 – APLICAÇÃO DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS**

### **3.2.1 PALESTRA INFORMATIVA**

Uma das etapas do gerenciamento de RCC foi a palestra informativa (FIGURA 3.2), que abordou temas ligados ao PGRCC. A palestra informativa teve a função de apresentar o trabalho e esperar a colaboração dos funcionários, essenciais no gerenciamento de resíduos. Esta palestra abordou os tópicos:

- definição e identificação dos RCC;
- destinação dos RCC;
- gerenciamento de RCC;
- necessidade de fazer o gerenciamento de RCC;
- técnicas de separação dos RCC;
- procedimentos na obra.



**FIGURA 3.2 – PALESTRA INFORMATIVA**

A abordagem para a palestra sobre os procedimentos a serem adotados na obra visou a participação de todos os funcionários e foi apresentada com linguagem acessível, para evitar mal entendidos em relação aos objetivos do projeto e à adoção de boas práticas no canteiro de obra. Os funcionários foram estimulados a interromper a palestra e a fazer perguntas sobre o que estava sendo apresentado e,

também, informados sobre a disponibilidade do mestre de obras, do almoxarife e da engenheira da obra para esclarecimentos. A palestra teve acompanhamento visual através de um computador portátil, e duração de 30 minutos.

Para a complementação do treinamento foram realizadas reuniões com as equipes de trabalho no início de cada etapa construtiva.

### 3.2.2 PLANEJAMENTO

O correto planejamento é importante para o funcionamento do PGRCC. O planejamento do PGRCC foi realizado de acordo com o Decreto nº 1.111/06 do Município de Ponta Grossa.

Nesta fase, os resíduos gerados foram identificados, não somente identificados em classes ou quantidades prováveis mas, também foi definida a época em que seriam gerados. Em função do cronograma da obra foi possível perceber em que mês o resíduo seria gerado e então programar a viabilização de estruturas para o armazenamento e controle, com posterior reciclagem ou disposição final.

No planejamento, foram identificados os funcionários diretamente ligados ao PGRCC, e relacionado o grau de conhecimento e entendimento em relação à atividade desenvolvida, segundo apresentado Tabela 3.1.

Os funcionários identificados em relação a um maior conhecimento receberam treinamento adicional em reuniões com a equipe de trabalho definida.

**TABELA 3.1 – FUNCIONÁRIOS E GRAU DE CONHECIMENTO**

<b>FUNCIONÁRIOS</b>	<b>GRAU DE CONHECIMENTO DO PROJETO</b>
Engenheiros da obra	Total
Mestre de obra	Total
Encarregado	Total
Equipe de serventes	Palestra informativa + reunião deliberativa
Equipe de armadores	Palestra informativa
Equipe de carpinteiros	Palestra informativa
Equipe de pedreiros	Palestra informativa
Equipes externas	Palestra informativa

Os funcionários que deveriam ter o conhecimento total do projeto foram definidos por sua função e autoridade na obra. Tais funcionários motivaram e supervisionaram o trabalho de outros, para garantir a eficiência do PGRCC.

### 3.2.1.1 Caracterização dos RCC

A caracterização dos resíduos da construção civil foi realizada de acordo com a resolução CONAMA 307/2002 sendo apresentada na Tabela 3.2.

**TABELA 3.2 - CARACTERIZAÇÃO DO RCC**

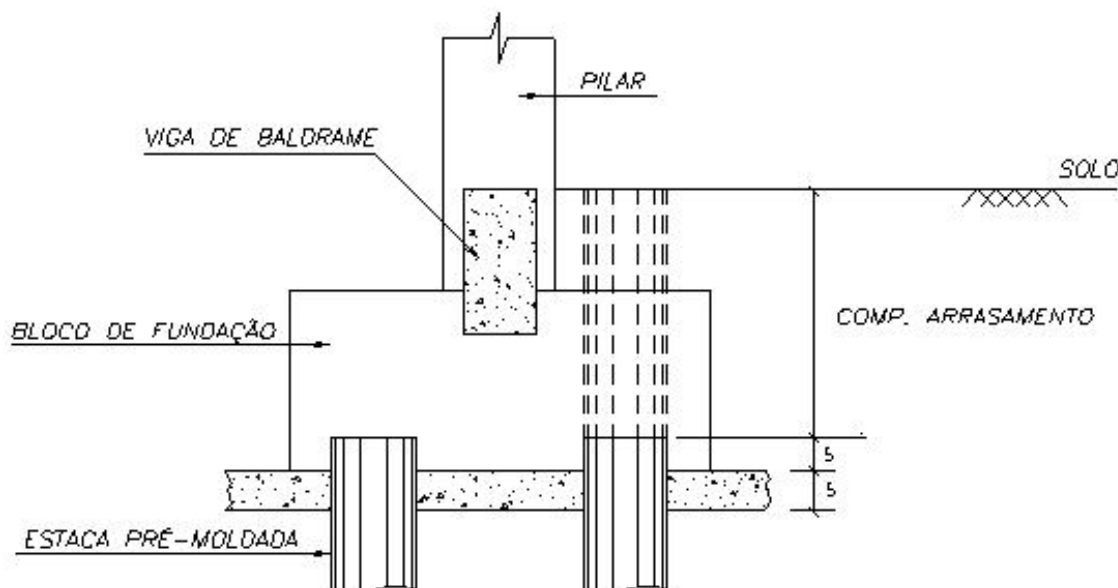
TIPO DE RESÍDUO	DESCRIÇÃO
Classe A	Resíduos de concreto Resíduos de argamassa Brita Areia Blocos cerâmicos Saibro
Classe B	Madeira PVC Acrílico Metais Vidro Papéis Plásticos
Classe C	Gesso
Classe D	Tinta Impermeabilizantes Telha de fibrocimento

FONTE: CONAMA nº 307/02 (CONAMA, 2002)

### 3.2.1.2 Redução da geração de RCC

A redução de resíduos caracteriza-se por envolver ações de economia, evitando o desperdício na utilização da matéria-prima, abordado neste capítulo separadamente para cada matéria-prima.

- Concreto: a análise da utilização do concreto permitiu observar que os únicos resíduos de concreto gerados em grande volume foram provenientes das estacas a serem arrasadas, pois como é uma obra nova não houve demolições. O arrasamento de estacas se caracteriza pela quebra das estacas até que atinjam uma altura ideal para a construção de blocos de fundação e baldrames, conforme apresentado nas Figuras 3.3 e 3.4.



**FIGURA 3.3 – ARRASAMENTO DE ESTACAS – CORTE ESQUEMÁTICO**

FONTE: Flexcon Engenharia Ltda. Projetos Estruturais (2005)



**FIGURA 3.4 – ARRASAMENTO DE ESTACAS – ESTACA ARRASADA**

- Argamassa: o resíduo de argamassa foi gerado nos trabalhos de assentamento de tijolos, chapisco, reboco e emboço. Para reduzir este resíduo treinou-se a mão-de-obra para executar estes serviços para que as perdas fossem minimizadas, e o material derrubado no piso fosse novamente levado à betoneira.
- Areia, brita, saibro, fibrocimento e cerâmica: para a redução destes resíduos observou-se o cuidado no recebimento, evitando quebras ou perdas ao descarregar o produto. Tais materiais foram armazenados próximo ao local de utilização. O fibrocimento e a cerâmica foram armazenados sobre “palets”

(FIGURA 3.5) evitando a perda do material pela contaminação no contato com o solo e pela umidade transmitida pelo solo.



**FIGURA 3.5 – “PALET” DE MADEIRA**

- Madeira: os cuidados no recebimento e armazenagem foram observados, sendo que a madeira foi mantida afastada da umidade e do tempo, evitando sua deterioração precária. No início da obra a madeira foi estocada sobre “palets” e coberta com telhas de fibrocimento. Depois da execução da infraestrutura (estacas, blocos, baldrame) e superestrutura (pilares, vigas, lajes entre outros) a madeira foi armazenada sob a laje do ginásio.
- PVC, acrílico, vidro, gesso, tinta, impermeabilizante: os pedidos foram feitos sob medida para evitar a sobra de materiais (FIGURA 3.6). O recebimento do material foi realizado cuidadosamente, evitando-se quebras ou perdas.



**FIGURA 3.6 – FORNECIMENTO DE VIDRO**

- Papéis e plásticos: os papéis e plásticos gerados na obra foram provenientes de embalagens não havendo alternativas de redução. Estes materiais, portanto, foram corretamente armazenados e dispostos.

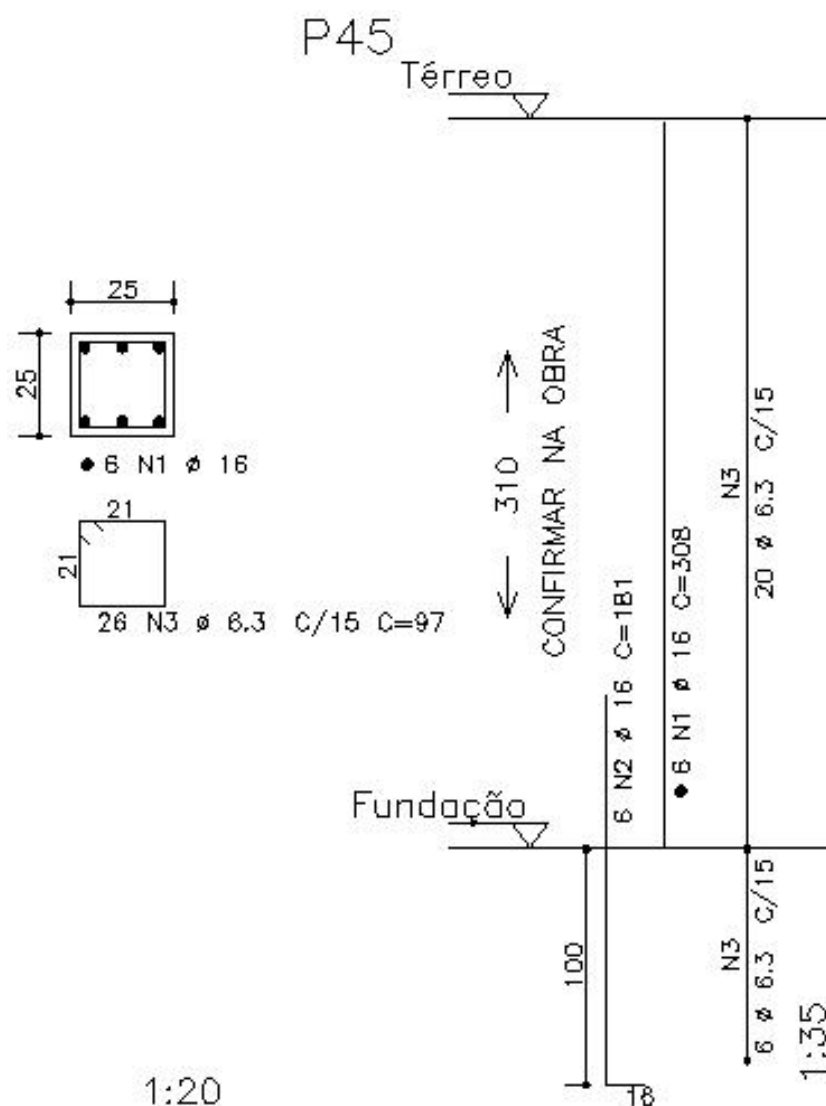


- Aço: a maior geração de resíduos de aço em uma obra é proveniente do corte para a montagem das armaduras. Para reduzir ao máximo a geração destes resíduos, neste estudo, a matéria-prima foi comprada cortada e dobrada diretamente da fábrica (FIGURA 3.7). Cabe ressaltar que esta possibilidade de pedido é viável apenas para obras grandes, pois o pedido mínimo é de 5 t de aço cortado e dobrado. A geração de resíduos de aço esteve relacionada à construção de pilares com alturas variáveis que deveriam ser confirmadas no local (FIGURA 3.8).



**FIGURA 3.7 – AÇO CORTADO E DOBRADO**





**FIGURA 3.8 – PILARES COM ALTURA VARIÁVEL**

FONTE: Flexcon Engenharia Ltda. Projetos Estruturais (2005)

### 3.2.1.3 Reutilização dos RCC

A reutilização de resíduos caracteriza-se por envolver ações que visam o aproveitamento sem a necessidade de descarte. Normalmente, a utilização dos resíduos está relacionada a funções menos nobres do que a da matéria-prima.

- Resíduos de concreto: foram reutilizados para preenchimentos não estruturais, principalmente para regularização de nível de blocos de fundação;
- Resíduos de argamassa: foram reutilizados para preenchimento não-estrutural, elaboração de argamassa para revestimentos (chapisco, reboco, emboço);

- Resíduos de brita, areia, saibro, fibrocimento, tinta, impermeabilizante: as sobras passíveis de posterior utilização foram encaminhadas ao depósito da empresa. Os resíduos que não podiam ser reaproveitados foram ser destinados de acordo com especificações da Resolução CONAMA n.º 307/02;
- Resíduos de cerâmica: foram reutilizados para preenchimento não-estrutural, principalmente como aterro em áreas a serem aterradas e regularização de pisos;
- Resíduos de madeira: as peças usadas foram classificadas como reutilizáveis e não-reutilizáveis. As peças reutilizáveis foram encaminhadas ao depósito, enquanto as peças não-reutilizáveis foram doadas a terceiros. Caso fosse necessário seria pesquisada a viabilidade de destinação a fábricas de beneficiamento ou que desejassem para qualquer outra utilização;
- Resíduos de PVC, acrílico, metais, papel, plástico: não existiu a possibilidade de reutilização destes resíduos na obra, portanto foram encaminhados a unidades de reciclagem;
- Resíduos de fibrocimento: não existiu a possibilidade de reutilização destes resíduos na obra, portanto foram dispostos segundo resolução CONAMA 307;
- Resíduos de vidro e gesso: os trabalhos que precisaram de gesso foram terceirizados, portanto, os próprios fornecedores tiveram a obrigação de recolher o resíduo, para posteriormente reutilizá-lo.

#### **3.2.1.4      *Segregação dos RCC***

Para definir como seria realizada a segregação foram considerados fatores como distância de transporte e pontos de reutilização. Todos os materiais foram segregados na geração, sendo dispostos, quando necessário, em locais separados e identificados. Exceção feita aos resíduos de concreto, que foram reutilizados no próprio local de geração, e aos resíduos de madeira só foram identificados no final da obra, portanto toda madeira é estocada e separada de outros materiais.

#### **3.2.3    IMPLANTAÇÃO**

A implantação do PGRCC no canteiro de obras atendeu a Resolução CONAMA 307/02 e o Decreto nº 1.111/06 do Município de Ponta Grossa, utilizado por ser mais restritivo. Portanto, os resíduos foram separados em classes e em baias cuja área

variou proporcionalmente à quantidade gerada. A necessidade da construção de baias em relação à geração de resíduos está apresentada na Tabela 3.3.

A constituição das baias de armazenamento de resíduos esteve relacionada ao resultado positivo ou negativo, associado à quantidade gerada. Foram construídas baias para o recebimento de papel e plásticos, e outros resíduos que possuíam baixa geração e períodos de produção variados (FIGURA 3.9).



**FIGURA 3.9 – BAIAS DE ARMAZENAMENTO DE RESÍDUOS**

Para completar a implantação, foram realizadas reuniões deliberativas com a equipe de serventes e, foram determinados procedimentos para armazenamento, transporte de materiais, e como o deveria ser efetuado o controle de geração dos resíduos.

TABELA 3.3 – ESCOLA CARLOS DRUMMOND DE ANDRADE - AVALIAÇÃO DA NECESSIDADE DE CRIAÇÃO DE BAIAS

DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	PORCENTAGEM EXECUTADA NO PERÍODO								GERAÇÃO DE RESÍDUOS	RESÍDUO GERADO	REUTILIZAÇÃO NA OBRA	NECESSIDADE DE CRIAÇÃO DE BAIAS
	1	2	3	4	5	6	7	8				
Serviços preliminares	100								Inexistente			
Infra-estrutura	80	20							Alta Baixa	Concreto Aço	Local-imediata Não há	Negativa Negativa
Superestrutura		20	30	30	20				Inexistente			
Paredes Painéis e Forros		20	30	30	20				Alta Baixa	Cerâmica PVC	Local-imediata Não há	Negativa Negativa
Impermeabilizações e Isolamentos		100							Baixa	Impermeabilizante	Não há	Negativa
Cobertura				40	60				Baixa	Telhas de fibrocimento	Não há	Negativa
Esquadrias de Madeira							100		Inexistente			
Esquadrias Metálicas/PVC/Acrílico							100		Inexistente			
Revestimentos					25	50	25		Alta	Argamassa	Local-posterior	Negativa
Pisos, Degraus, Rodapés, Soleiras e Peitoris							50	50	Inexistente			
Vídeos e Espelhos								100	Baixa	Vidro	Não há	Negativa
Pintura								100	Baixa	Tinta	Não há	Negativa
Instalações Elétricas, Telefônicas, Lógica, Som e Pára-Raios						25	50	25	Baixa	Fios	Não há	Negativa
Instalações Hidro Sanitárias, de Prevenção de Incêndio e de Águas Pluviais						25	50	25	Baixa	PVC	Não há	Negativa
Instalações Especiais, Móveis e Equipamentos								100	Inexistente			
Serviços Complementares						30	40	30	Inexistente			
Limpeza final								100	Inexistente			
Resíduos gerados em todas as fases da obra									Alta	Papel, plásticos	Não há	Positiva – 1m²

### 3.2.4 QUANTIFICAÇÃO

A quantificação de resíduos é importante, pois permite análise posterior para determinar o desperdício do sistema construtivo e comparar a geração de resíduos com outras referências.

Os resíduos da obra foram quantificados através de cálculos de sua geração, ou, pela determinação de massa, realizada utilizando uma balança antropométrica Filizola, modelo 34, com capacidade para 150 kg e graduação para 100 g.

#### 3.2.4.1 Concreto

Todo resíduo de concreto foi resultado do arrasamento de estacas.

A obra possuía em seu total 338 estacas, das quais 324 foram ser arrasadas. Como o resíduo de concreto destas estacas foi inevitável e sua reutilização foi imediata, em enchimentos não-estruturais, este foi quantificado pelos cálculos descritos na seqüência. Apenas uma parte deste concreto foi separada para realização de testes para sua reutilização na geração de concretos estruturais.

Considerando que na área denominada “didático” os blocos têm, em sua maioria, 80 cm de profundidade e os baldrames têm 60 cm de profundidade, a quantificação do resíduo de concreto gerado foi realizada, conforme a Equação (1):

$$V=(d_1 \times d_2 \times 1,40) \text{ m}^3, \quad (1)$$

em que:  $d_1$  e  $d_2$  são as dimensões das estacas em metros.

Considerando que na área denominada “ginásio” os blocos têm em sua maioria 55 cm de profundidade e os baldrames têm 50 cm de profundidade, a quantificação do resíduo de concreto gerado foi realizada, conforme a Equação (2):

$$V=(d_1 \times d_2 \times 1,05) \text{ m}^3, \quad (2)$$

em que:  $d_1$  e  $d_2$  são as dimensões das estacas em metros.

O peso específico do concreto armado é de 2,5 tf/m<sup>3</sup>. No caso de estacas, que são levemente armadas, a contribuição do aço no concreto armado é de 0,05 tf/m<sup>3</sup>.

#### 3.2.4.2 Cerâmica

A cerâmica também foi gerada em grande volume, e sua disposição final foi próxima ao local de geração. A geração de resíduos de cerâmica foi quantificada pelo controle de carrinhos gerados por dia. Um carrinho cheio de resíduo de cerâmica é medido, descontado sua massa têm-se a massa da cerâmica. Serão

feitas três amostras de massa e a massa média foi adotada para fazer a quantificação. A quantificação do número de carrinhos de resíduos de cerâmica foi realizada diariamente pelos serventes, responsáveis por esta atividade. O resultado foi repassado ao encarregado da obra.

#### **3.2.4.3 Argamassa**

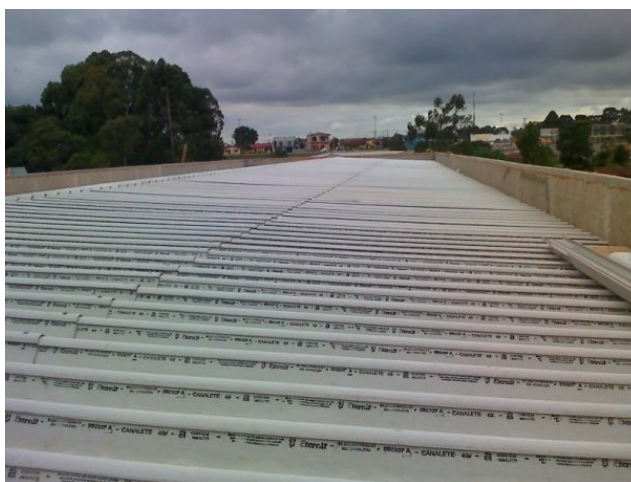
Gerada em grande volume, sua quantificação foi realizada por sala construída para determinação da taxa de geração em kg/m<sup>2</sup>, esta taxa foi utilizada para determinar a geração total na obra. O resíduo de argamassa gerado foi armazenado no pátio, posteriormente foi peneirado e utilizado para composição de novas argamassas com aplicação em acabamentos.

#### **3.2.4.4 Brita, areia, saibro**

Representam resíduos que são quantificados somente no final da obra. Estes materiais são continuamente utilizados, portanto, não existem sobras. Somente no final da obra poderia haver sobras, sendo que, então, os resíduos seriam cubados e encaminhados ao depósito da empresa.

#### **3.2.4.5 Fibrocimento**

Representam resíduos que foram quantificados somente no final da execução da cobertura (FIGURA 3.10). Tiveram a massa final determinada e foram destinados ao depósito da empresa. Resíduos não-reaproveitáveis foram pesados e destinados de acordo com especificações da Resolução CONAMA nº 307/02.



**FIGURA 3.10 – COBERTURA EM FIBROCIMENTO**

#### **3.2.4.6 Tinta, impermeabilizante, madeira**

Representam sobras e resíduos que foram quantificados somente no final da etapa construtiva que os utiliza, sua massa final foi determinada pela pesagem para posterior encaminhamento ao depósito da empresa ou doação a funcionários e passantes.

#### **3.2.4.7 Papel e plástico**

Resíduos provenientes de embalagens tem alta geração e foram quantificados através do levantamento de materiais utilizados na obra e da massa de suas embalagens.

#### **3.2.4.8 PVC, acrílico, metais, vidro**

Estes resíduos têm baixa geração e foram quantificados no final da etapa construtiva específica ou ao preencher o volume de um saco de 100 L.

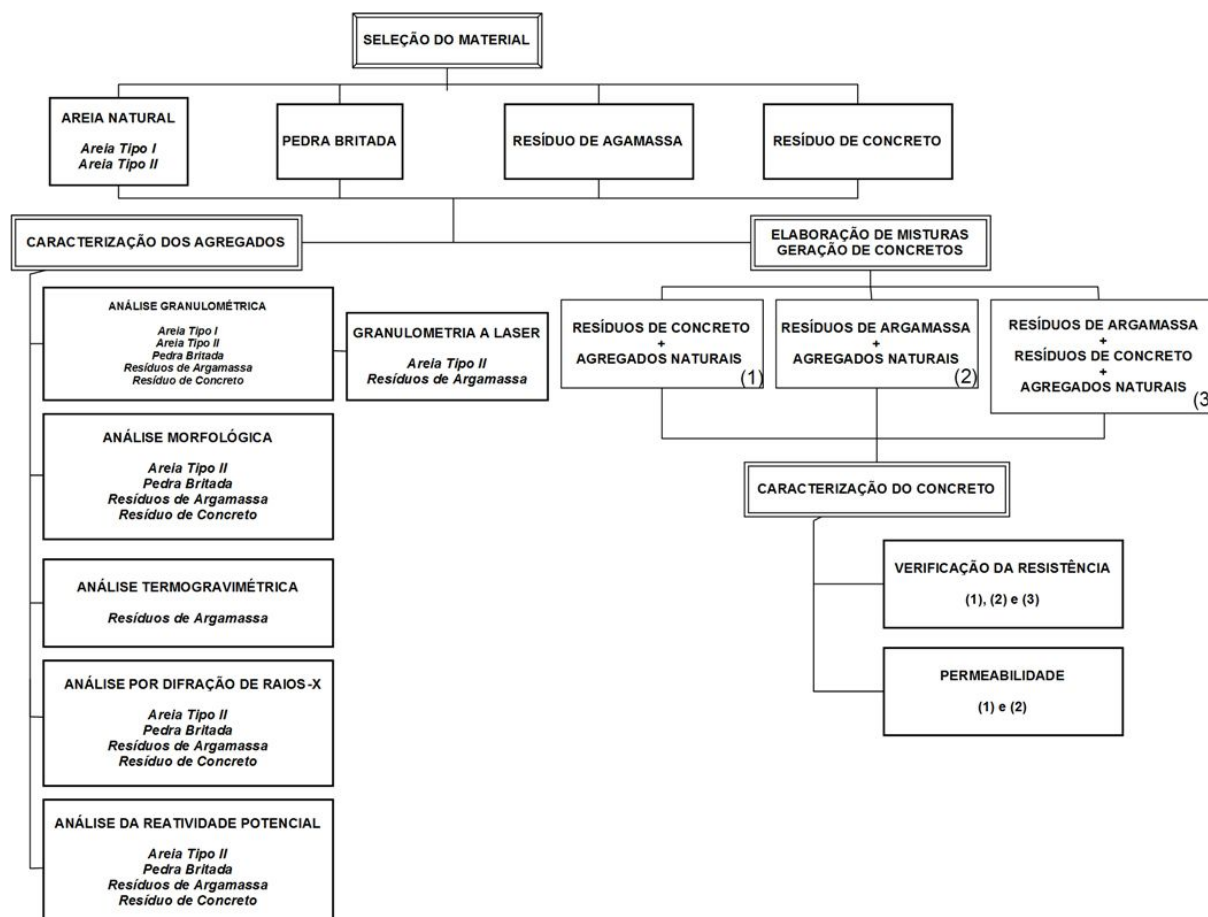
### **3.2.5 MONITORAMENTO**

O acompanhamento da obra deveria ser realizado num período de 8 meses, que era o prazo inicial da obra. Entretanto, devido a problemas de fornecimento de materiais e serviços que são da responsabilidade da administração pública, a obra teve seu prazo estendido. O acompanhamento apresentado neste estudo foi iniciado em fevereiro de 2007 e finalizado em fevereiro de 2008, mas a obra ainda encontra-se em execução e sob acompanhamento com previsão de término para maio de 2008.

Para o monitoramento, foi necessária a definição e a aplicação do PGRCC, que foi desenvolvido e implementado com a colaboração dos funcionários da obra. A equipe diretamente ligada ao gerenciamento controlou a geração e posterior reutilização ou disposição.

### 3.3 PARTE 2 – METODOLOGIA DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS: AGREGADOS E CONCRETO

A caracterização dos agregados e do concreto foi feita seguindo o fluxograma apresentado na Figura 3.11.



**FIGURA 3.11 – FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS: AGREGADOS E CONCRETO**

Os materiais foram selecionados, sendo eles a areia tipo I, areia tipo II, pedra britada, resíduo de argamassa e resíduo de concreto. O concreto gerado com estes agregados possuía em sua composição agregados naturais e agregados reciclados. Foram realizadas análises para caracterizar os agregados naturais e reciclados, e, testes para caracterizar o concreto gerado a partir destes agregados.

Para os agregados selecionados foram realizadas quatro análises, sendo elas análise granulométrica, análise da termogravimetria (TG), difração de raios-X (DRX), análise da morfologia dos grãos e reatividade potencial.

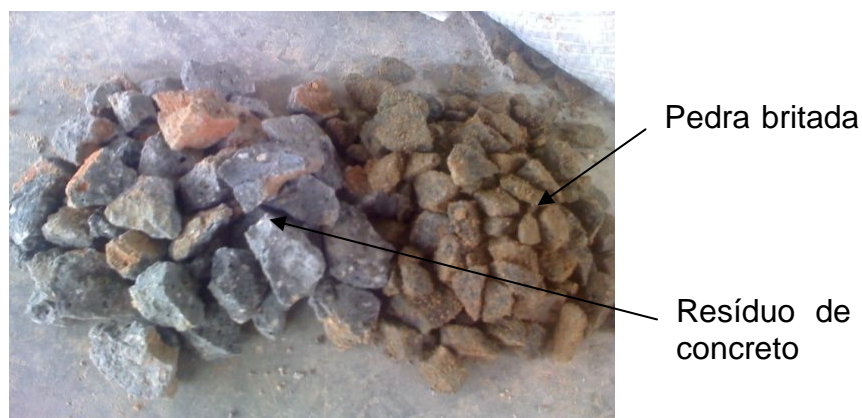
Para caracterização do concreto foram realizados os ensaios de resistência à compressão, através do rompimento de corpos-de-prova, e o ensaio de permeabilidade.



### 3.3.1 SELEÇÃO DO MATERIAL

Os materiais reaproveitados para a elaboração de concretos foram os resíduos de argamassa, utilizados como areia, e os resíduos de concreto, utilizados como pedra britada. O resíduo de argamassa gerado nos trabalhos de chapisco, reboco e emboço foi armazenado para posterior reutilização, enquanto o concreto selecionado foi aquele resultante do arrasamento de estacas, já especificado anteriormente. Foram utilizados dois tipos de areia natural, denominadas areia Tipo I e areia Tipo II. A areia Tipo I, fornecida no início da obra, específica para elaboração de concreto, e a areia Tipo II, fornecida na etapa de revestimentos, específica para elaboração de revestimentos. A pedra britada utilizada foi a fornecida durante toda a execução da obra.

A seleção do resíduo de concreto foi realizada pela inspeção visual, para garantir a inexistência de outros materiais misturados, com posterior britagem manual atingindo granulometria próxima à da brita 1 (FIGURA 3.12).

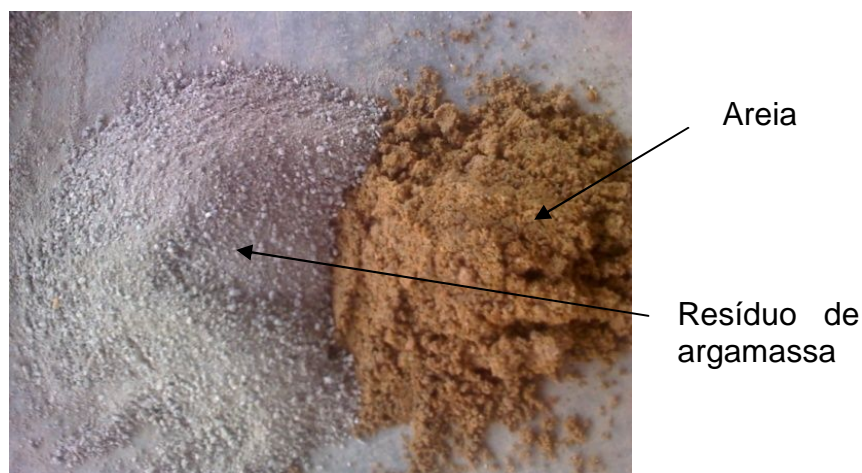


**FIGURA 3.12 – PEDRA BRITADA E RESÍDUO DE CONCRETO**

A seleção do resíduo de argamassa foi realizada pela inspeção visual, além de peneiramento em malha 5,0 mm (FIGURA 3.13), atingindo granulometria próxima à da areia (FIGURA 3.14).



**FIGURA 3.13 – PENEIRAMENTO DO RESÍDUO DE ARGAMASSA**



**FIGURA 3.14 – AREIA E RESÍDUO DE ARGAMASSA**

### **3.3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS**

Os agregados foram caracterizados por intermédio de quatro ensaios, descritos a seguir.

#### **3.3.2.1 *Análise Granulométrica***

Realizado segundo NBRNM nº 248/03 (ABNT, 2003), teve por objetivo definir as percentagens de grãos de acordo com sua dimensão, sendo a menor dimensão identificada de 0,15 mm. Para este ensaio foram utilizadas amostras de todos os agregados, naturais e reciclados, realizado no LAME – Laboratório de Materiais e Estruturas. Para este ensaio foram necessários 2 kg de areia Tipo II, 2 kg de resíduo de argamassa, 20 kg de pedra britada e 20 kg de resíduos de concreto. As amostras foram secas em estufa por 24 h, quarteadas (FIGURA 3.15), e, então, peneiradas em um jogo de peneiras vibratórias por 10 minutos (FIGURA 3.16). Para os agregados graúdos foram utilizadas as peneiras com malha de: 38 mm, 32 mm, 25 mm, 19 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 6,3 mm e 4,8 mm, para os agregados miúdos foram

utilizadas as peneiras com malha de: 4,8 mm, 2,4 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,3 mm e 0,15 mm. O ensaio da areia Tipo I foi realizado no laboratório Bianco Tecnologia do Concreto, e o laudo cedido pela empresa fornecedora da areia, Tradição Comércio de Areia e Terra Ltda.



**FIGURA 3.15 - QUARTEAMENTO E PESAGEM – MATERIAL GRAÚDO**

FONTE: LAME - Laboratório de Materiais e Estruturas (2008)



(a) Peneiras para agregado graúdo



(b) Peneiras para agregado miúdo

**FIGURA 3.16 - JOGO DE PENEIRAS SOBRE EQUIPAMENTO VIBRATÓRIO**

FONTE: LAME - Laboratório de Materiais e Estruturas (2008)

Após o peneiramento as frações foram medidas em massa (kg) para cálculo de sua porcentagem e elaboração da curva de distribuição granulométrica. Para definir a porcentagem retida em cada peneira calcula-se a razão entre a massa retida na peneira e a massa final da amostra.

Com o material passante na peneira de malha 0,15 mm foi realizado também o ensaio de granulometria a laser, através do qual foi possível determinar a porcentagem de grãos do agregado de acordo com sua dimensão, das amostras de areia e de resíduo de argamassa, realizado no LAMIR – Laboratório de Análises de Minerais e Rochas. Este material foi colocado num granulômetro com peneiramento laser, marca CILAS 1064, com tempo de ultrassom de 60 segundos. O material foi dissolvido em um tanque presente no equipamento, até atingir a concentração ideal,

que foi identificada pelo equipamento (FIGURA 3.17). A solução de água e agregado circulava pelo equipamento e ao passar pelo laser recebeu o feixe de luz, o equipamento identificou a quantidade de luz absorvida e refletida caracterizando as dimensões e proporções do material. Todo o processo foi acompanhado em um programa de computador.



**FIGURA 3.17 - GRANULÔMETRO A LASER**

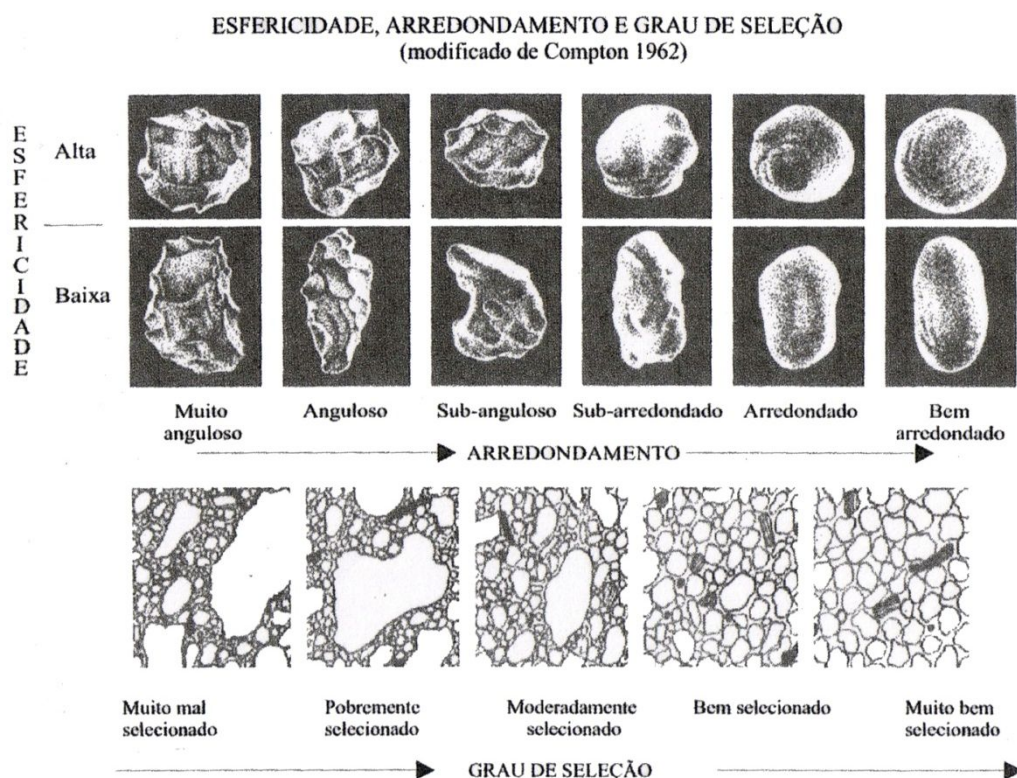
FONTE: LAMIR - Laboratório de Análise de Minerais e Rochas (2008)

### **3.3.2.2 *Análise Morfológica das Partículas***

Através da análise morfológica das partículas, foi possível identificar características de esfericidade, arredondamento e grau de seleção dos agregados utilizados. Para este ensaio foram utilizadas amostras dos agregados naturais e reciclados, realizado no LAMIR – Laboratório de Análises de Minerais e Rochas.

O método utilizado foi o de análise com lupa, utilizando um microscópio óptico de luz transmitida marca Leica. Foram observadas características de esfericidade, arredondamento e grau de seleção, apresentados na Figura 3.18.





**FIGURA 3.18 – CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS AGREGADOS**

FONTE: LAMIR - Laboratório de Análise de Minerais e Rochas (2008)

Para estas características foram atribuídos valores em acordo com a Tabela 3.4, que foram utilizados para classificar os agregados.

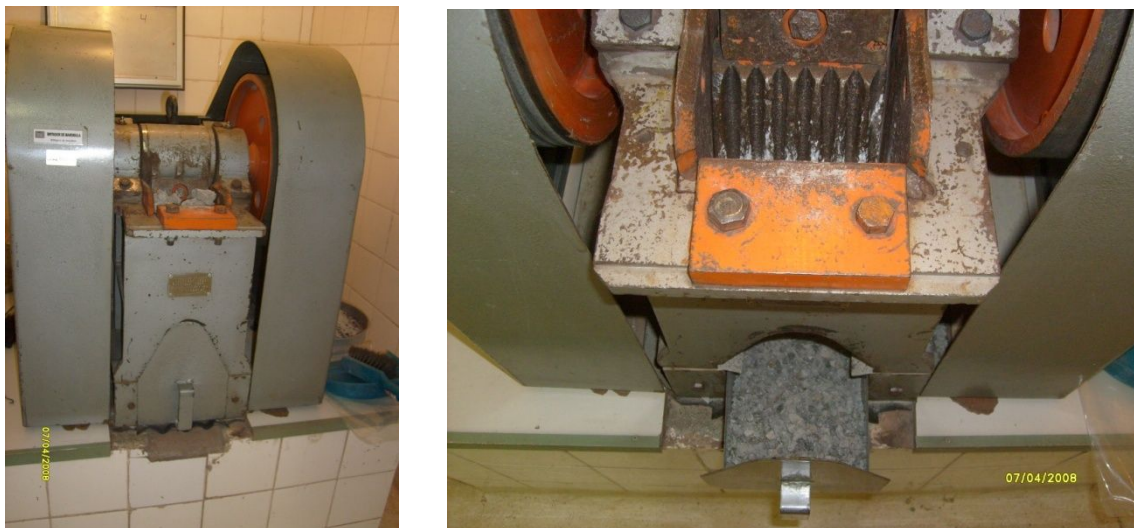
**TABELA 3.4 – VALORES ATRIBUÍDOS**

ESFERICIDADE	GRAU DE SELEÇÃO	ARREDONDAMENTO	VALOR ATRIBUÍDO (V.A.)
Alta	Muito mal selecionado	Muito anguloso	1
Baixa	Pobremente selecionado	Anguloso	2
-	Moderadamente selecionado	Sub-anguloso	3
	Bem selecionado	Sub-arredondado	4
	Muito bem selecionado	Arredondado	5
	-	Bem arredondado	6

### 3.3.2.3 Análise Termogravimétrica

Este ensaio caracteriza quantitativamente componentes dos materiais estudados, através da identificação da perda ou ganho de massa, e da quantidade de calor cedido ou absorvido pela amostra, durante o efeito térmico, e transição de fase. O equipamento utilizado foi o TGA/SDTA851e, da Mettler-Toledo, com 1 atm de oxigênio.

Todas as amostras de agregados naturais e reciclados tiveram o mesmo tratamento. Os agregados miúdos foram quarteados (FIGURA 3.20), obtendo-se uma amostra de 30 g de cada resíduo. Estas 30 g foram pulverizadas (FIGURA 3.21 e 3.22) para serem utilizadas nos ensaios de TG e DRX. Os agregados graúdos foram testados com mesmo processo, mas anteriormente ao quarteamento estes agregados foram britados (FIGURA 3.19).



**FIGURA 3.19 – EQUIPAMENTO DE BRITAGEM**

FONTE: LAMIR - Laboratório de Análise de Minerais e Rochas (2008)



**FIGURA 3.20 – EQUIPAMENTO PARA QUARTEAMENTO DE AMOSTRAS**

FONTE: LAMIR - Laboratório de Análise de Minerais e Rochas (2008)



**FIGURA 3.21 – EQUIPAMENTO PARA PULVERIZAÇÃO DE AMOSTRAS**

FONTE: LAMIR - Laboratório de Análise de Minerais e Rochas (2008)



**FIGURA 3.22 - MATERIAL ANTES E DEPOIS DA PULVERIZAÇÃO**

FONTE: LAMIR - Laboratório de Análise de Minerais e Rochas (2008)

Para este ensaio o material utilizado foi o resíduo de argamassa. O material pulverizado foi colocado no equipamento que aqueceu a amostra e, através de sensores, determinou a temperatura da amostra e a temperatura externa. A temperatura de teste variou de 30° C a 1000° C com taxa de aquecimento de 10° C por minuto, o que resulta na volatilização de alguns componentes, dependendo da amostra. Com os dados de temperatura e tempo foi elaborado um gráfico, e, através dele foi possível identificar materiais componentes da amostra.

#### **3.3.2.4 Ensaio de Difração de Raios-X**

Caracteriza qualitativamente a composição dos agregados naturais e reciclados, através da identificação de sua fase cristalina. Para este ensaio foram utilizadas amostras pulverizadas dos agregados naturais e reciclados, realizado no LAMIR – Laboratório de Análises de Minerais e Rochas. Foi utilizado o sistema de



difratometria de raios-X, modelo PW-1830, marca *Philips Analytical*, com tubo de raios x de difração foco longo, PW 2273/20, com goniômetro vertical com geometria Theta/2 Theta PW 3020/00 e software básico para análise qualitativa – *X'pert Highscore*, marca *Philips*.

As amostras para a DRX tiveram preparação idêntica a já apresentada na TG. Para este ensaio foram utilizados todos os agregados, naturais e reciclados. O material pulverizado foi moldado em lâminas (FIGURA 3.23) para leitura no equipamento. As lâminas foram colocadas, uma a uma, no difratômetro de raios-X (FIGURA 3.24), e através da emissão de feixes de raios-X e da leitura dos ângulos de difração foram elaborados gráficos de intensidade *versus* ângulo de difração. A partir deste gráfico foi possível identificar a composição das amostras.



**FIGURA 3.23 - PREPARAÇÃO DE LÂMINAS PARA DRX**

FONTE: LAMIR - Laboratório de Análise de Minerais e Rochas (2008)



**FIGURA 3.24 - DIFRATÔMETRO DE RAIOS-X**

FONTE: LAMIR - Laboratório de Análise de Minerais e Rochas (2008)



### 3.3.2.5 *Reatividade Potencial*

Este ensaio verifica a reatividade entre o cimento e os agregados utilizados no concreto. Para este ensaio foram utilizadas amostras dos materiais naturais, reciclados e do cimento, realizado no LAME – Laboratório de Materiais e Estruturas. Este ensaio seguiu a norma ASTM C 1260 (2007).

A reatividade potencial é avaliada pela porcentagem de expansão de corpos-de-prova específicos (FIGURA 3.25).



- (a) Misturador para preparação da argamassa
- (b) Molde do corpo-de-prova
- (c) Moldagem do corpo-de-prova
- (d) Corpos-de-prova moldados
- (e) Câmara úmida
- (f) Corpos-de-prova na solução de NaOH
- (g) Medição do corpo-de-prova
- (h) Corpo-de-prova
- (i) Corpos-de-prova na água a 80°C

**FIGURA 3.25 – ENSAIO DE REATIVIDADE POTENCIAL**

FONTE: LAME - Laboratório de Materiais e Estruturas (2008)

Neste ensaio o cimento é misturado com o agregado na relação 1:2,25. Com esta argamassa foram moldados corpos-de-prova no formato de barras com dimensões de 2,5 cm x 2,5 cm x 28,5 cm. Agregados graúdos ou miúdos foram tratados para atingirem a granulometria específica para a realização do ensaio. Após 24 horas em câmara úmida os corpos-de-prova foram desmoldados e as barras foram colocadas na água a 80° C por 24 h, após este período a extensão das barras foram mensuradas e elas foram colocadas em solução de NaOH 1N a 80° C por 28 dias. Leituras para medir a extensão do corpo-de-prova foram realizadas diariamente e sua variação de comprimento foi representada em porcentagem de expansão.

Para o ensaio de reatividade potencial foram utilizadas amostras de areia (60 kg), brita (80 kg), resíduos de concreto (50 kg), resíduos de argamassa (60 kg) e do cimento utilizado (50 kg).

### **3.3.3 CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO**

O concreto foi elaborado em canteiro de obra, para cumprir as especificações do PGRCC, pois este trabalho visou a reutilização dos resíduos na própria obra, isto para reduzir a necessidade de disposição final e de compra de matéria-prima.

A cada mistura de concreto foram elaborados dois corpos-de-prova padrão, com dimensões especificadas anteriormente.

Posteriormente foram reelaborados os concretos que atingiram maior resistência, então foram retirados quinze corpos-de-prova padrão para definição de uma curva de resistência em função do tempo, e, um corpo-de-prova específico para o ensaio de permeabilidade.

#### **3.3.3.1 Dosagem do concreto**

É importante definir frações de substituição, para serem dosadas no concreto, pois existe a dosagem ideal do concreto, que varia com as características dos materiais utilizados e com as exigências de qualidade, aplicação e resistência desejados. As frações de substituição do agregado natural pelo agregado reciclado foram organizadas de acordo com a Tabela 3.5.

**TABELA 3.5 FRAÇÕES DE AGREGADO RECICLADO UTILIZADAS NO CONCRETO**

GRUPO DE AMOSTRAS	MATERIAL	% DE AGREGADO SUBSTITUÍDO	% DE AGREGADO SUBSTITUÍDO	% DE AGREGADO SUBSTITUÍDO	% DE AGREGADO SUBSTITUÍDO
1	Argamassa	0	33	66	100
2	Concreto	0	33	66	100
3	Argamassa e Concreto	0	33	33	33
		0	33	66	100
4	Argamassa e Concreto	0	66	66	66
		0	33	66	100
5	Argamassa Concreto	0	100	100	100
		0	33	66	100

Após a definição do traço base do concreto, que não possui materiais reaproveitados, para cada célula da Tabela 3.5 foi elaborado um traço seguindo as proporções indicadas.

Todos os materiais foram pesados para obter sua massa específica em kg/lata para ser utilizada na elaboração do concreto, sendo a lata padronizada com um volume de 18 L. O fator a/c adotado foi 0,5.

Nas Tabelas 3.6 a 3.21, a linha 1 indica a proporção em volume do traço definido para a mistura. A linha 2, indica a massa específica (kg/lata) do material, e, a linha 3, apresenta a proporção em massa (kg) de material que deve ser utilizado, calculado pela multiplicação da proporção em volume pela massa específica. Para a determinação da massa específica e das adições foi utilizada uma balança antropométrica Filizola, modelo 34, com capacidade para 150 kg e graduação para 100 g (FIGURA 3.26).

**FIGURA 3.26 – BALANÇA UTILIZADA NA PESAGEM DOS MATERIAIS**

Os traços foram determinados em volume, porém, a elaboração dos concretos ocorreu através das proporções em massa, baseadas na massa específica dos materiais. O traço base do concreto está apresentado na Tabela 3.6.

**TABELA 3.6 - TRAÇO BASE**

	TRAÇO BASE	CIMENTO	AREIA	BRITA
1	Proporção em volume (lata)	0,25	1,00	1,00
2	Massa específica (kg/lata)	25,00	24,00	23,00
3	Proporção em massa (kg)	6,25	24,00	23,00

Com o concreto proveniente do arrasamento de estacas foram elaborados traços em que o concreto substituiu a pedra britada. Tais traços foram apresentados nas Tabelas 3.7, 3.8 e 3.9.

**TABELA 3.7 – TRAÇO CONCRETO 100%**

	CONCRETO 100%	CIMENTO	AREIA	BRITA	CONCRETO
1	Proporção em volume (lata)	0,25	1,00		1,00
2	Massa específica (kg/lata)	25,00	24,00	23,00	20,30
3	Proporção em massa (kg)	6,25	24,00	-	20,30

**TABELA 3.8 – TRAÇO CONCRETO 66%**

	CONCRETO 66%	CIMENTO	AREIA	BRITA	CONCRETO
1	Proporção em volume (lata)	0,25	1,00	0,33	0,66
2	Massa específica (kg/lata)	25,00	24,00	23,00	20,30
3	Proporção em massa (kg)	6,25	24,00	7,59	13,40

**TABELA 3.9 – TRAÇO CONCRETO 33%**

	CONCRETO 33%	CIMENTO	AREIA	BRITA	CONCRETO
1	Proporção em volume (lata)	0,25	1,00	0,66	0,33
2	Massa específica (kg/lata)	25,00	24,00	23,00	20,30
3	Proporção em massa (kg)	6,25	24,00	15,18	6,70

Com a argamassa proveniente dos trabalhos de chapisco, reboco e emboço foram elaborados traços em que a argamassa substituiu a areia, apresentados nas Tabelas 3.10, 3.11 e 3.12.

**TABELA 3.10 – TRAÇO ARGAMASSA 100%**

	ARGAMASSA 100%	CIMENTO	AREIA	ARGAMASSA	BRITA
1	Proporção em volume (lata)	0,25		1,00	1,00
2	Massa específica (kg/lata)	25,00	24,00	24,50	23,00
3	Proporção em massa (kg)	6,25	-	24,50	23,00

**TABELA 3.11 – TRAÇO ARGAMASSA 66%**

	ARGAMASSA 66%	CIMENTO	AREIA	ARGAMASSA	BRITA
1	Proporção em volume (lata)	0,25	0,33	0,66	1,00
2	Massa específica (kg/lata)	25,00	24,00	24,50	23,00
3	Proporção em massa (kg)	6,25	7,92	16,17	23,00

**TABELA 3.12 – TRAÇO ARGAMASSA 33%**

	ARGAMASSA 33%	CIMENTO	AREIA	ARGAMASSA	BRITA
1	Proporção em volume (lata)	0,25	0,66	0,33	1,00
2	Massa específica (kg/lata)	25,00	24,00	24,50	23,00
3	Proporção em massa (kg)	6,25	15,84	8,09	23,00

Com o concreto proveniente do arrasamento de estacas e com a argamassa proveniente dos trabalhos de chapisco, reboco e emboço, foram elaborados traços em que o concreto substituiu a pedra britada e que a argamassa substituiu a areia. Tais traços estão apresentados nas Tabelas 3.13 a 3.21.

**TABELA 3.13 – TRAÇO ARGAMASSA 33% CONCRETO 100%**

	ARG.+CONC. - 33+100	CIMENTO	ARGAMASSA	AREIA	CONCRETO	BRITA
1	Proporção em volume (lata)	0,25	0,33	0,66	1,00	
2	Massa específica (kg/lata)	25,00	24,00	24,50	20,30	23,00
3	Proporção em massa (kg)	6,25	7,92	16,17	20,30	-

**TABELA 3.14 – TRAÇO ARGAMASSA 33% CONCRETO 66%**

	ARG.+CONC. – 33+66	CIMENTO	ARGAMASSA	AREIA	CONCRETO	BRITA
1	Proporção em volume (lata)	0,25	0,33	0,66	0,66	0,33
2	Massa específica (kg/lata)	25,00	24,00	24,50	20,30	23,00
3	Proporção em massa (kg)	6,25	7,92	16,17	13,40	7,59

**TABELA 3.15 – TRAÇO ARGAMASSA 33% CONCRETO 33%**

	ARG.+CONC. – 33+33	CIMENTO	ARGAMASSA	AREIA	CONCRETO	BRITA
1	Proporção em volume (lata)	0,25	0,33	0,66	0,33	0,66
2	Massa específica (kg/lata)	25,00	24,00	24,50	20,30	23,00
3	Proporção em massa (kg)	6,25	7,92	16,17	6,70	15,18

**TABELA 3.16 – TRAÇO ARGAMASSA 66% CONCRETO 100%**

	ARG.+CONC. – 66+100	CIMENTO	ARGAMASSA	AREIA	CONCRETO	BRITA
1	Proporção em volume (lata)	0,25	0,66	0,33	1,00	
2	Massa específica (kg/lata)	25,00	24,00	24,50	20,30	23,00
3	Proporção em massa (kg)	6,25	15,84	8,09	20,30	-

**TABELA 3.17 – TRAÇO ARGAMASSA 66% CONCRETO 66%**

	ARG.+CONC. – 66+66	CIMENTO	ARGAMASSA	AREIA	CONCRETO	BRITA
1	Proporção em volume (lata)	0,25	0,66	0,33	0,66	0,33
2	Massa específica (kg/lata)	25,00	24,00	24,50	20,30	23,00
3	Proporção em massa (kg)	6,25	15,84	8,09	13,40	7,59

**TABELA 3.18 – TRAÇO ARGAMASSA 66% CONCRETO 33%**

	ARG.+CONC. – 66+33	CIMENTO	ARGAMASSA	AREIA	CONCRETO	BRITA
1	Proporção em volume (lata)	0,25	0,66	0,33	0,33	0,66
2	Massa específica (kg/lata)	25,00	24,00	24,50	20,30	23,00
3	Proporção em massa (kg)	6,25	15,84	8,09	6,70	15,18

**TABELA 3.19 – TRAÇO ARGAMASSA 100% CONCRETO 100%**

	ARG.+CONC. – 100+100	CIMENTO	ARGAMASSA	AREIA	CONCRETO	BRITA
1	Proporção em volume (lata)	0,25	1,00		1,00	
2	Massa específica (kg/lata)	25,00	24,00	24,50	20,30	23,00
3	Proporção em massa (kg)	6,25	24,00	-	20,30	-

**TABELA 3.20 – TRAÇO ARGAMASSA 100% CONCRETO 66%**

	ARG.+CONC. – 100+66	CIMENTO	ARGAMASSA	AREIA	CONCRETO	BRITA
1	Proporção em volume (lata)	0,25	1,00		0,66	0,33
2	Massa específica (kg/lata)	25,00	24,00	24,50	20,30	23,00
3	Proporção em massa (kg)	6,25	24,00	-	13,40	7,59

**TABELA 3.21 – TRAÇO ARGAMASSA 100% CONCRETO 33%**

	ARG.+CONC. – 100+33	CIMENTO	ARGAMASSA	AREIA	CONCRETO	BRITA
1	Proporção em volume (lata)	0,25	1,00		0,66	0,33
2	Massa específica (kg/lata)	25,00	24,00	24,50	20,30	23,00
3	Proporção em massa (kg)	6,25	24,00	-	13,40	7,59

### **3.3.3.2 Verificação da resistência à compressão simples**

A caracterização da resistência estrutural é usualmente realizada pelo rompimento de corpos-de-prova e segue a NBR 5739 (2007). Tais corpos - de - prova possuem tamanho usual padrão seguindo a NBR 5738 (2008), normalmente adotado como um cilindro com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura e foram rompidos no laboratório Bianco Tecnologia do Concreto. A caracterização desta resistência é importante para a utilização do concreto na construção civil.

Conforme apresentado anteriormente (Seção 2), para apresentar característica estrutural o concreto deve apresentar resistência de 15 MPa para fundações e 20 MPa para estrutura. Em função desta característica foi elaborado um “traço base” (concreto convencional) que foi utilizado para comparar com os traços elaborados com os agregados substituídos.

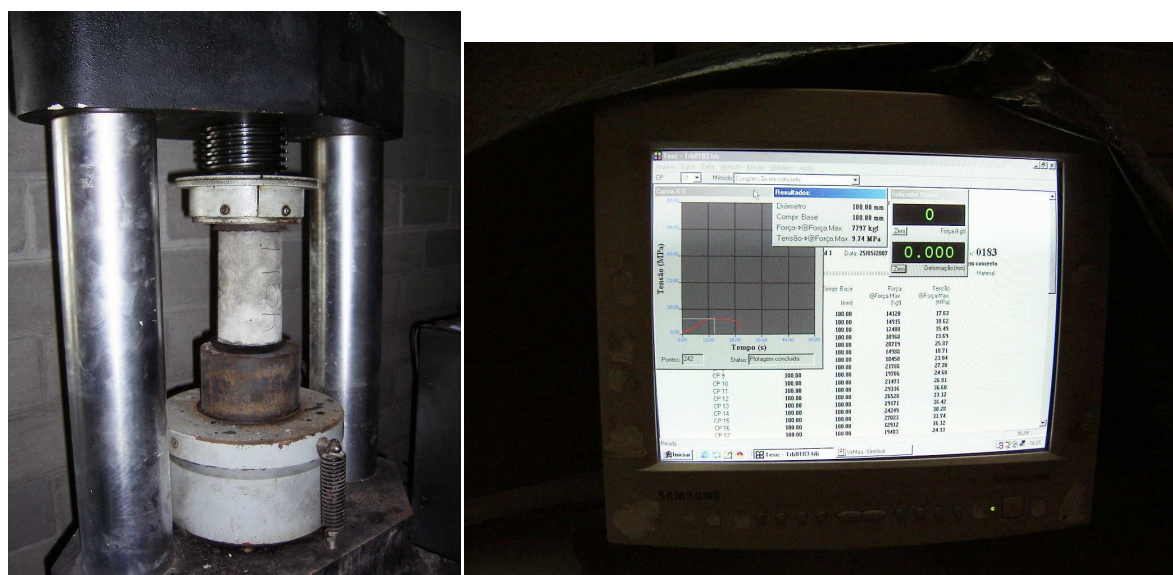
Para a verificação da resistência dos corpos-de-prova produzidos com agregados reciclados de concreto, de argamassa e de concreto e argamassa foi utilizado o ensaio de compressão simples com rompimento a 7 e 28 dias da data de produção. Deve ser salientado que estes prazos estão relacionados ao início da retirada de formas e escoras de algumas estruturas e à resistência estrutural característica do concreto, respectivamente, 7 e 28 dias.

Os concretos que atingiram resistência próxima a 20 MPa foram reelaborados e quinze corpos-de-prova foram retirados para rompimento a 7, 14 e 28 dias. Com

estes dados foi elaborada a curva de resistência em função do tempo do concreto gerado.

No ensaio de compressão simples (FIGURA 3.27), o corpo-de-prova foi colocado em uma prensa e então comprimido até seu rompimento. A prensa determinou a carga de ruptura e com este dado foi calculada a resistência do concreto.

O rompimento dos corpos-de-prova foi realizado em uma máquina servo-hidráulica “EMIC”, modelo PC-150S, célula eletrônica de carga para 1500 kN, software “TESC-EMIC”, calibrada, aferida em 27 de junho de 2007, de classificação conforme norma brasileira NBR ISO 7500 – CLASSE 1 (ABNT, 2004).



**FIGURA 3.27 - ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES**

FONTE: Bianco Tecnologia do Concreto (2007)

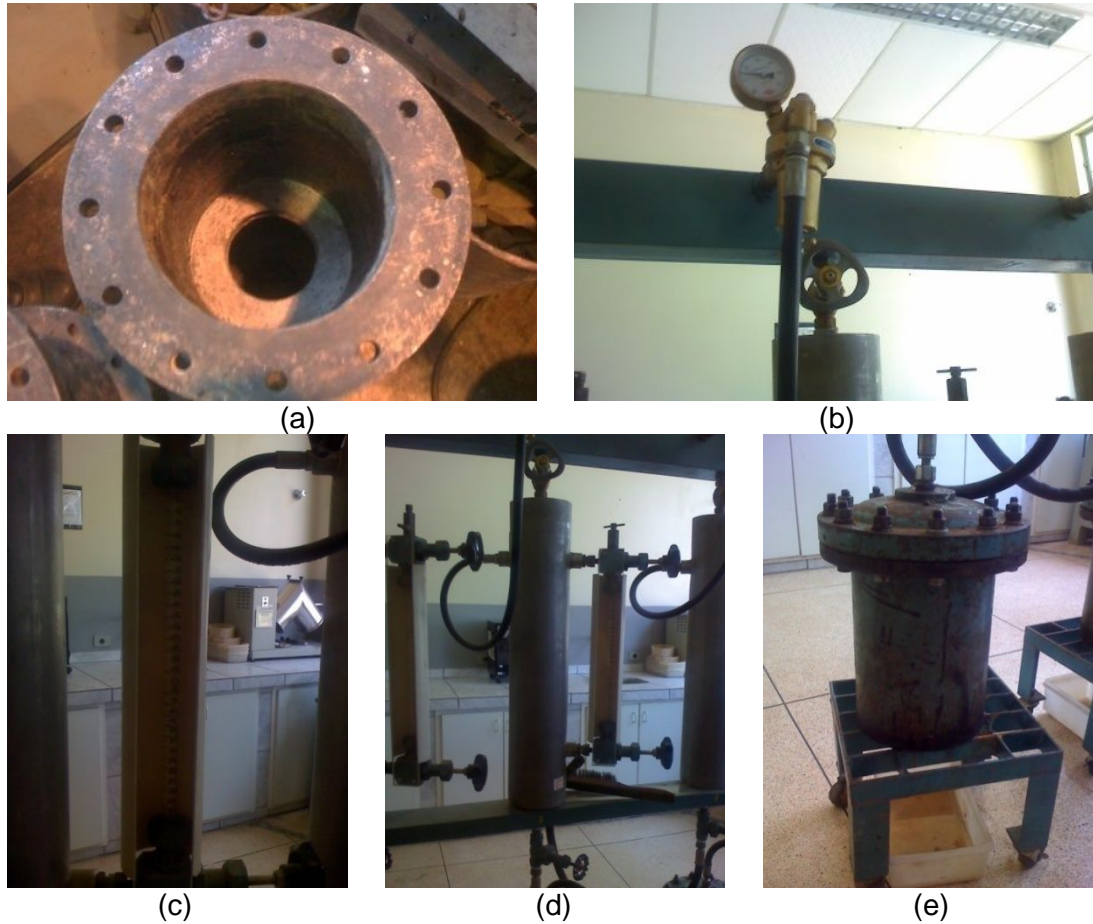
### **3.3.3.3 Permeabilidade**

Este ensaio é utilizado para verificar a permeabilidade do concreto gerado, e pode ser utilizado como indicativo de durabilidade. Para tal, mede-se a vazão de percolação de água no concreto estudado. Para este ensaio foram elaborados corpos-de-prova no formato cilíndrico com 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura, realizado no LAME – Laboratório de Materiais e Estruturas.

Neste ensaio o corpo-de-prova foi cortado a 7,5 cm de suas superfícies superior e inferior, atingindo as dimensões de 15 cm de altura e 15 cm de diâmetro. Recebeu então uma impermeabilização lateral e foi colocado em um molde, que possui um furo embaixo e em cima foi fechado para que, utilizando equipamento de



pressão, a água fosse forçada através do corpo-de-prova. Foram realizadas leituras diárias para saber o volume de água que percolou pelo corpo. Este ensaio foi realizado durante 500 h (FIGURA 3.28).



- (a) Molde para o ensaio
- (b) Medidor de pressão
- (c) Pipeta graduada para leitura da infiltração de água
- (d) Aparelho pressurizador
- (e) Molde fechado com corpo-de-prova

**FIGURA 3.28 – ENSAIO DE PERMEABILIDADE**

FONTE: LAME – Laboratório de Materiais e Estruturas (2008)



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados são referentes ao processamento de doze meses de aplicação do PGRCC e dos testes realizados com o concreto reciclado.

### 4.1 PARTE 1 – APLICAÇÃO DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS

O PGRCC teve início coincidente com a obra. Como parte dos resultados do PGRCC notou-se a organização do canteiro de obras, que possuía locais corretos para ao armazenamento ou disposição de materiais. A quantificação de resíduos foi feita de acordo com a metodologia já apresentada.

#### 4.1.1 QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS

##### 4.1.1.1 Concreto

Os cálculos para a determinação dos volumes de resíduo de concreto, para as áreas administrativa e do ginásio, foram realizadas de acordo com as equações (1) e (2), já apresentadas no capítulo Metodologia.

**TABELA 4.1 - QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS DE CONCRETO**

Bloco	Dimensão das Estacas (cm) Seção Quadrada	Quantidade de estacas	Quantidade de Estacas Arrasadas	Comprimento Arrasado das estacas(m)	Volume de concreto (m³)
Adm <sup>1</sup>	18	35	35	1,40	1,59
Adm <sup>1</sup>	20	53	53	1,40	2,97
Adm <sup>1</sup>	22	53	53	1,40	3,59
Adm <sup>1</sup>	25	32	32	1,40	2,80
Gin <sup>2</sup>	14	17	3	1,05	0,06
Gin <sup>2</sup>	18	96	96	1,05	3,27
Gin <sup>2</sup>	20	42	42	1,05	1,76
Gin <sup>2</sup>	22	10	10	1,05	0,51
TOTAL		338	324	3.175,20	16,55
Peso Específico Concreto Armado				2,5 tf/m³	
Peso Específico Concreto Armado – Concreto				2,45 tf/m³	
Peso Específico Concreto Armado – Aço				0,05 tf/m³	
Peso Total de Resíduo de Aço (tf)				0,83	
Peso Total de Resíduo de Concreto (tf)				40,54	

A Tabela 4.1 apresenta o resultado da quantificação do resíduo de concreto, que foi 40,54 t para a obra. Ao dividir este valor pela área da obra, teve-se o índice de geração de 9,08 kg por m².

#### 4.1.1.2 Cerâmica

A quantificação do resíduo de cerâmica ocorreu durante a fase “Paredes, Painéis e Forros”. A contabilização dos carrinhos de resíduos gerados foi realizada diariamente e a massa média dos carrinhos de cerâmica foi definida pela média de três amostras, como apresentado na Tabela 4.2.

**TABELA 4.2 - MASSA MÉDIA DOS CARRINHOS DE CERÂMICAS**

CARRINHO	MASSA (kg)
1	44,7
2	45,2
3	45,3
Massa média (kg/carrinho)	45,0
Quantidade de carrinhos	253
Massa total de resíduos de cerâmica gerados	11.385,0

#### 4.1.1.3 Argamassa

A quantificação do resíduo de argamassa ocorreu durante a fase “Revestimentos”. Através da medição do resíduo de argamassa gerado em alguns ambientes (FIGURA 4.1) e suas áreas foi elaborada uma taxa de geração. Os resíduos foram levantados dos serviços de chapisco e emboço, as áreas foram de parede, teto e total. A taxa de geração foi determinada por serviço de chapisco e emboço, com a taxa de geração de argamassa obtida pela soma das duas. A multiplicação da taxa obtida pela área total deste revestimento na obra resultou na geração total de resíduos de argamassa, conforme apresentado na Tabela 4.3.



**FIGURA 4.1 – GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE ARGAMASSA NOS AMBIENTES**

TABELA 4.3 – DETERMINAÇÃO DA TAXA DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS ARGAMASSA

LOCAL	CHAPISCO (kg)	EMBOÇO (kg)	ÁREA	PAREDES (m²)	TETO (m²)	TOTAL (m²)	TAXA CH (kg/m²)	TAXA EM (kg/m²)
Banheiro feminino			Total	82,37	41,80	124,17	-	-
Banheiro masculino			Total	82,37	41,80	124,17	-	-
Circulação	247,0		Teto	373,78	214,33	588,11	1,15	-
Coordenação	11,0		Total	52,61	20,37	72,98	0,15	-
Depósito	18,0		Total	44,46	15,19	59,65	0,30	-
Depósito de mat. didático	22,0		Parede	45,03	14,97	60,00	0,49	-
Diretoria	15,0		Total	52,61	20,37	72,98	0,21	-
Documentação	28,0		Total	50,76	18,80	69,56	0,40	-
Laboratório	610,0		Total	185,14	186,30	371,44	1,64	-
Orientação	9,0		Total	38,79	11,14	49,93	0,18	-
Recepção		17,0	Total	66,60	27,57	94,17	-	0,18
Sala 05	88,0		Parede	89,49	61,46	150,95	0,98	-
Sala 06	68,0		Parede	89,49	61,46	150,95	0,76	-
Sala 07		146,0	Total	89,46	61,46	150,92	-	0,97
Sala 08		115,0	Total	89,46	61,46	150,92	-	0,76
Sala 09		131,0	Total	89,46	61,46	150,92	-	0,87
Sala 10		37,0	Total	89,46	61,46	150,92	-	0,25
Sala 11		9,0	Total	89,32	61,14	150,46	-	0,06
Sala 12		181,0	Total	89,32	61,14	150,46	-	1,20
Sala 13		193,0	Total	89,32	61,14	150,46	-	1,28
Sala 14		185,0	Total	95,19	68,91	164,10	-	1,13
Sala 15		78,0	Total	95,73	69,84	165,57	-	0,47
Sala 16	85,0		Total	89,86	62,39	152,25	0,56	-
Sala dos professores	88,0		Parede	70,82	40,60	111,42	1,24	-
Sala multi-uso		39,0	Total	110,04	90,09	200,13	-	0,19
Secretaria	26,0		Total	70,91	40,60	111,51	0,23	-
Taxa média de geração de chaplisco e emboço (kg/m²)								0,64
Taxa média de geração de argamassa (kg/m²)								1,31
Área total de revestimento da escola (m²)								9.996,50
Geração total de resíduos de argamassa (kg)								13.073,70

#### **4.1.1.4 Fibrocimento**

A quantificação dos resíduos de fibrocimento ocorreu após a fase “Cobertura”. Durante a execução da cobertura houve um erro de instalação das telhas de fibrocimento e, portanto, uma elevada perda destes elementos, o que é incomum neste tipo de trabalho. Durante esta etapa construtiva 62 telhas foram quebradas e metade de 20 telhas foram reaproveitadas, o restante foi desperdiçado (FIGURA 4.2). Cada telha possuía 54 kg, considerando a perda total de 52 telhas, a massa total das telhas desperdiçadas foi de 2.808 kg.



**FIGURA 4.2 – RESÍDUO DE FIBROCIMENTO**

#### **4.1.1.5 Madeira**

A quantificação dos resíduos de madeira (FIGURA 4.3) ocorreu após as fases “Infra-estrutura” e “Superestrutura”. A quantidade de madeira adquirida, reaproveitada e residual da obra está apresentada na Tabela 4.4, tendo como massa total de resíduos de madeira 88.338,33 kg.



**FIGURA 4.3 – RESÍDUO DE MADEIRA**

TABELA 4.4 – QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS DE MADEIRA

DESCRIÇÃO DO PRODUTO	UNID	QTDE	ESP.(mm)	LARG.(m)	COMP.(m)	VOL(m³)
Compensado Emba 14mm	ch	600,00	14,00	1,10	2,20	20,33
Compensado Embal. 10mm CB	ch	640,00	10,00	1,10	2,20	15,49
Madeirite 110x220x6m	ch	10,00	6,00	1,10	2,20	0,15
Madeira de pinus serrada em bruto diversas bitolas	m3	1,50				1,50
Bracatinga 3m	pç	300,00			3,00	7,07
Escora para Construção	pç	200,00			3,00	4,71
Escoras bracatinga 4,50m	pç	20,00	Diâmetro médio 10cm			0,71
Escoras bracatinga 5,00m	pç	60,00			5,00	2,36
Escoras bracatinga 6,00m	pç	60,00			6,00	2,83
			ESP.(")	LARG.(")	COMP.(m)	VOL(m³)
Madeira serrada em pinus bruto 1x2x2,50	ml	1.275,00	1,00	2,00	2,50	1,65
Madeira serrada em pinus bruto 1x3x2,50	ml	9.930,00	1,00	3,00	2,50	19,22
Madeira serrada em pinus bruto 1x8x2,50	ml	3.900,00	1,00	8,00	2,50	20,13
Madeira serrada em pinus bruto 2x4x2,50	ml	2.770,00	2,00	4,00	2,50	14,30
<b>Volume Total Adquirido (m³)</b>						<b>110,42</b>
<b>Peso Específico (kgf/m³)</b>						<b>800,00</b>
<b>Peso Total Adquirido(kgf)</b>						<b>88.338,33</b>
<b>Peso Reaproveitado (kgf)</b>						<b>13.236,30</b>
<b>Peso Total de Resíduos (kgf)</b>						<b>75.102,03</b>

#### 4.1.1.6 Papel e plástico

Os resíduos de papel e de plástico foram provenientes de embalagens de materiais como cal, cimento, etc. que estão listados na Tabela 4.5. Para sua quantificação foi necessária a determinação das quantidades em massa e em número destas embalagens. Os resultados estão apresentados na Tabela 4.5, com geração total de resíduos de papel de 674,84 kg e de resíduos de plástico de 153,45 kg.

**TABELA 4.5 – QUANTIFICAÇÃO DE RESÍDUOS DE PAPEL E PLÁSTICO**

MATERIAL	PRODUTO	QUANTIDADE	MASSA UNITÁRIA (g)	MASSA TOTAL (kg)
Plástico	Cal	2.790	55	153,45
Papel	Cimento	2.160	169,5	366,12
Papel	Piso emborrachado	35	320	11,20
Papel	Azulejo (15x15)	393	240	94,32
Papel	Cerâmica (40x40)	875	160	140,00
Papel	Placa vinílica	316	200	63,20
Total de resíduos de plástico (kg)				153,45
Total de resíduos de papel (kg)				674,84

#### 4.1.1.7 Outros resíduos

Devidos a problemas de cronograma e execução da obra a mesma não foi concluída até fevereiro de 2008, período final deste levantamento.

Considerando que todos os serviços que resultam em grande geração de resíduos já foram executados, para melhor comparação com outros estudos, foi considerada a geração de outros resíduos, sendo 5,66% da geração total de resíduos da obra. Este índice foi adotado a partir do estudo de TOZZI (2006), por ser mais recente e ter sido retirado elaborado em uma obra com gerenciamento de resíduos.

**TABELA 4.6 – GERAÇÃO DE RESÍDUOS EM kg/m²**

MATERIAL	QUANTIDADE GERADA NA OBRA (kg/m²)	MATERIAL	QUANTIDADE GERADA NA OBRA (kg/m²)
Concreto	9,08	Papel	0,16
Cerâmica	2,55	Fibrocimento	0,63
Argamassa	2,93	Plástico	0,04
Madeira	16,82	Outros	1,94

Assim, a soma de resíduos gerados (32,31 kg/m<sup>2</sup>) representa 94,34% dos resíduos e, a partir desse dado, a geração de outros resíduos foi calculada por:

$$\text{Outros} = 32,31 \times 5,66 / 94,34 = 1,94 \text{ kg/m}^2.$$

A taxa de geração de resíduos está apresentada na Tabela 4.6.

#### 4.1.2 COMPARAÇÃO DA QUANTIDADE DE RESÍDUOS GERADA NA OBRA COM REFERÊNCIAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS

A geração dos resíduos foi caracterizada em kg/m<sup>2</sup> e comparada com referências de resíduos de construção gerados nacionalmente e internacionalmente.

Na Tabela 4.7 está apresentada a comparação referências nacionais.

**TABELA 4.7 – COMPARAÇÃO DE GERAÇÃO COM REFERÊNCIAS NACIONAIS**

MATERIAL	QUANTIDADE GERADA NA OBRA (kg/m²)	QUANTIDADE GERADA (kg/m²) (TOZZI, 2006)	QUANTIDADE GERADA (kg/m²) (MONTEIRO,2001)
Concreto	9,08	3,02	87,00
Cerâmica	2,55	17,65	
Argamassa	2,93	18,33	189,00
Madeira	16,82	0,87	3,00
Papel	0,16	0,58	21,00
Fibrocimento	0,63	2,43	
Plástico	0,04		
Outros	1,94		
TOTAL	34,15	42,89	300,00

O total gerado mostra que obras com gerenciamento de resíduos, deste trabalho e do estudo apresentado por TOZZI (2006) produzem uma quantidade significativamente menor que a média nacional (MONTEIRO, 2001).

Porém, deve ser ressaltado que o estudo de MONTEIRO (2001) aborda construção e demolição, enquanto o estudo de TOZZI (2006) aborda apenas construção, sendo uma comparação mais razoável com o presente estudo, e, por isso, mais próxima.

Ao comparar cada item da tabela pode-se perceber menor eficiência no plano de gerenciamento adotado para resíduos de concreto e madeira. Outros resíduos apresentaram menor geração devido a características da obra que favorecem a boa utilização e reaproveitamento.

Na Tabela 4.8 está apresentada a comparação referência internacional.

**TABELA 4.8 – COMPARAÇÃO COM REFERÊNCIA INTERNACIONAL**

MATERIAL	QUANTIDADE GERADA NA OBRA (kg/m <sup>2</sup> )	QUANTIDADE GERADA (kg/m <sup>2</sup> ) (BOHNE, BERGSDAL E BRATTEBO, 2005)
Concreto e blocos	9,08	19,11
Fibrocimento	0,63	0,00
Madeira	16,82	2,75
Papel	0,16	0,46
Plástico	0,04	
Cerâmica	2,55	-
Argamassa	2,93	-
Resíduos perigosos	-	0,07
Gesso	-	1,38
Vidro	-	0,12
Isolamento / EPS	-	0,21
Metais	-	0,48
Desconhecido / Outros	1,94	6,19
TOTAL	34,15	30,77

Os dados da Tabela 4.8 apresentam os valores deste trabalho e os valores obtidos no estudo de Bohne, Bergsdal e Brattebo (2005) para obras de porte similar. A quantidade de total de resíduos gerada é próxima, apenas 9,89% de diferença.

Os estudos de Kibert (2002) apontam o índice de geração de resíduos em novas obras como sendo 27 kg/m<sup>2</sup>, sendo a diferença de geração de 20,94%. Ao analisar a geração detalhada percebe-se que a metodologia construtiva e os materiais utilizados são diferentes, portanto a comparação entre referências nacionais e internacionais se torna inapropriada.

#### **4.1.3 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO PGRCC**

Para a avaliação da eficiência do PGRCC foi mensurada a quantidade de material comprado e a quantidade de material desperdiçado, para então calcular a eficiência de aproveitamento em porcentagem, dada através da razão da quantidade de material aproveitado pela quantidade de material adquirida, apresentada na Tabela 4.9.



**TABELA 4.9 – AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO PROGRAMA**

MATERIAL	QUANTIDADE ADQUIRIDA (t)	QUANTIDADE DESPERDIÇADA (t)	EFICIÊNCIA (%)
Concreto	2.175,38	40,54	98,14
Cerâmica	508,72	11,38	97,76
Argamassa	629,78	13,07	97,92
Fibrocimento	27,55	2,81	89,80
Madeira	88,34	75,10	14,98
TOTAL	3.429,77	142,90	95,83

A eficiência total do programa implantado foi de aproximadamente 96%, ao observar resíduos que eram passível de redução e reutilização. Ao observar cada material o que obteve pior desempenho foi a madeira, atingindo apenas 15% de eficiência, este material deve ser melhor estudado para em obras futuras diminuir sua geração. Os outros materiais atingiram altos índices de eficiência, satisfatórios ao programa implementado.

#### 4.1.4 AVALIAÇÃO DA ECONOMIA DA UTILIZAÇÃO DO PGRCC

Na análise econômica foram considerados dois tipos de redução de gastos:

- a economia gerada através da reutilização do resíduo;
- a economia gerada através da não-remoção dos resíduos..

Na Tabela 4.10 está apresentada a economia gerada pela reutilização do resíduo, através do volume de resíduo reaproveitado multiplicado pelo valor que seria gasto ao adquirir o agregado natural.

**TABELA 4.10 – VALOR AGREGADO PELA REUTILIZAÇÃO**

RESÍDUO	AGREGADO NATURAL SUBSTITUÍDO	VOLUME DO RESÍDUO (m³)	PREÇO UNIT. DO AGREGADO NATURAL (R\$/m³)	PREÇO TOTAL (R\$)
Concreto	Brita	16,55	42,00	695,10
Cerâmica	Brita	9,49	42,00	398,58
Argamassa	Areia	2,87	45,00	129,15
Madeira	Madeira	16,54	320,00	4.972,80
TOTAL		45,45		6.195,63

Na Tabela 4.11 está apresentada a economia gerada pela não-disposição do resíduo, calculada através do volume de resíduos multiplicado pelo valor que seria gasto para sua remoção e disposição.

**TABELA 4.11 – VALOR AGREGADO PELA NÃO-REMOÇÃO E NÃO-DISPOSIÇÃO**

RESÍDUO	VOLUME DO RESÍDUO (m³)	PREÇO UNITÁRIO DE REMOÇÃO (R\$/m³)	PREÇO UNITÁRIO DE TRIAGEM E DISPOSIÇÃO (R\$/m³)	PREÇO TOTAL (R\$)
Concreto	16,55	13,20	3,18	271,09
Cerâmica	9,49	13,20	3,18	155,44
Argamassa	2,87	13,20	3,18	47,01
Fibrocimento	1,87	13,20	3,18	30,63
Madeira	93,87	13,20	3,18	1.537,59
Papel	0,45	13,20	3,18	7,37
Plástico	0,07	13,20	3,18	1,15
<b>TOTAL</b>	<b>125,17</b>	<b>2.050,28</b>		

A economia total é apresentada na Tabela 4.12, e é caracterizada pela soma dos valores encontrados nas Tabelas 4.10 e 4.11.

A razão entre o valor total economizado e a área total da obra resultou no valor economizado por área (R\$/m²), apresentado também na Tabela 4.12.

**TABELA 4.12 – ECONOMIA GERADA PELA APLICAÇÃO DO PGRCC**

RESÍDUO	VALOR ADQUIRIDO PELO REAPROVEITAMENTO (R\$)	VALOR ADQUIRIDO PELA NÃO-REMOÇÃO E NÃO-DISPOSIÇÃO (R\$)	VALOR TOTAL ECONOMIZADO POR RESÍDUO (R\$)
Concreto	695,10	271,09	966,19
Cerâmica	398,58	155,44	554,02
Argamassa	129,15	47,01	176,16
Fibrocimento	-	30,63	30,63
Madeira	4.972,40	1.537,59	6.509,99
Papel	-	7,37	7,37
Plástico	-	1,15	1,15
Valor total economizado na obra (R\$)			8.245,91
Valor economizado por área (R\$/m²)			1,85

O valor total economizado na obra foi de R\$8.261,08 (oito mil duzentos e sessenta e um reais e oito centavos), que ao ser comparado com o valor total da obra não é significativo. Entretanto, a maior vantagem da utilização do PGRCC está na questão ambiental, pois 125 m³ de resíduos deixaram de ser dispostos e 45,45 m³ de agregados naturais deixaram de ser explorados.

## 4.2 PARTE 2 – METODOLOGIA DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS: AGREGADOS E CONCRETO

A caracterização dos agregados foi feita pela análise granulométrica, análise morfológica das partículas, análise da termogravimetria, difração de raios-X e análise da reatividade potencial.

A caracterização do concreto foi feita pelos ensaios de rompimento de corpos-de-prova a compressão simples para verificação da resistência e pelo ensaio de permeabilidade.

### 4.2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

#### 4.2.1.1 *Análise granulométrica*

Os agregados graúdos caracterizados granulometricamente foram a pedra britada e o resíduo de concreto. Os resultados do ensaio estão apresentados nas Tabelas 4.13 e 4.14.

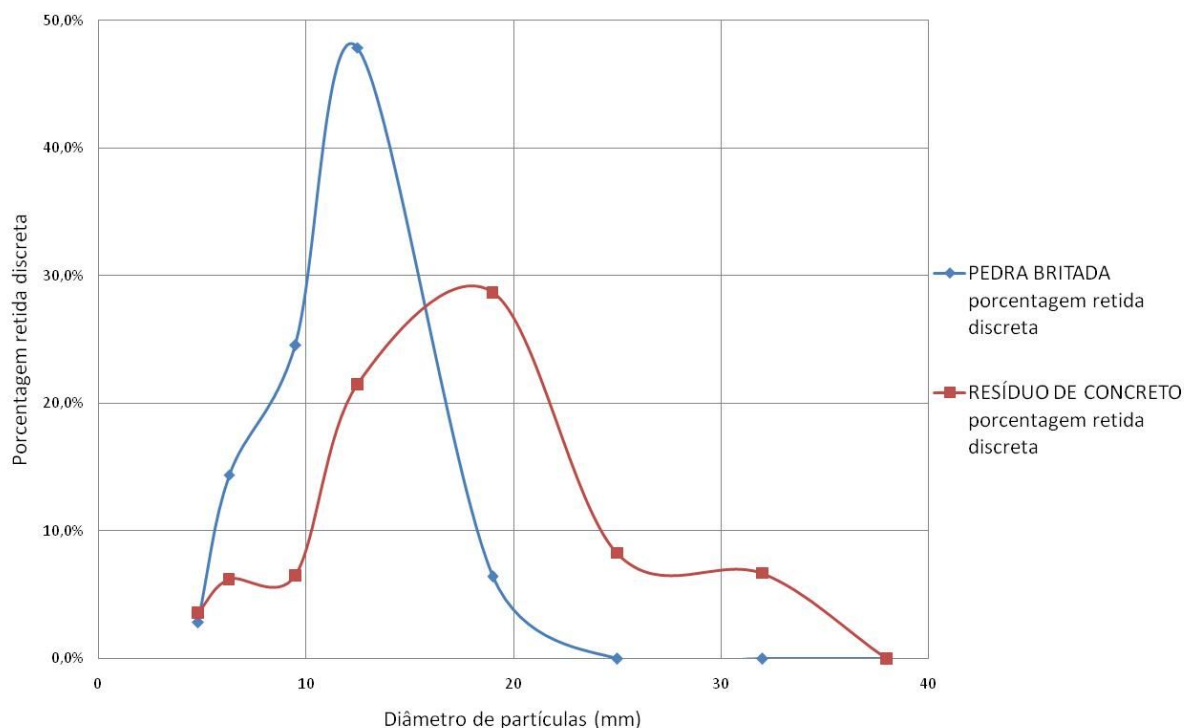
**TABELA 4.13 – GRANULOMETRIA DA PEDRA BRITADA**

PEDRA BRITADA							
Peneira		Material Retido		Porcentagem retida			
Número	mm	Amostra1	Amostra2	Amostra1	Amostra2	Média	Acumulada
1 1/2"	38,00					0,0%	0%
1 1/4"	32,00					0,0%	0%
1"	25,00	-	-	0,0%	0,0%	0%	0%
3/4"	19,00	311,40	331,40	6,2%	6,6%	6%	6%
1/2"	12,50	2.372,60	2.426,10	47,4%	48,3%	48%	54%
3/8"	9,50	1.222,30	1.239,00	24,4%	24,7%	25%	79%
1/4"	6,30	723,60	719,50	14,5%	14,3%	14%	93%
4	4,80	142,40	141,50	2,8%	2,8%	3%	96%
fundo		231,00	163,20	4,6%	3,3%	4%	100%
Massa final		5.003,30	5.020,70	100,0%	100,0%	100,0%	
Massa inicial		5.008,90	5.026,40				
Diferença (<0,3%)		0,11	0,11				
Módulo de Finura		6,62					
D.M.C. (mm)		25mm					

**TABELA 4.14 – GRANULOMETRIA DOS RESÍDUOS DE CONCRETO**

RESÍDUO DE CONCRETO							
Peneira		Material Retido		Porcentagem retida			
Número	mm	Amostra1	Amostra2	Amostra1	Amostra2	Média	Acumulada
1 1/2"	38,00	-	-	0,0%	0,0%	0%	0%
1 1/4"	32,00	187,10	480,40	3,7%	9,6%	7%	7%
1"	25,00	437,20	387,10	8,7%	7,7%	8%	15%
3/4"	19,00	1.341,20	1.526,80	26,8%	30,5%	29%	44%
1/2"	12,50	1.050,60	1.098,50	21,0%	22,0%	21%	65%
3/8"	9,50	330,80	319,90	6,6%	6,4%	7%	72%
1/4"	6,30	342,10	279,80	6,8%	5,6%	6%	78%
4	4,80	199,70	155,20	4,0%	3,1%	4%	81%
fundo		1.108,20	756,00	22,2%	15,1%	19%	100%
Massa final		4.996,90	5.003,70	100,0%	100,0%	100,0%	
Massa inicial		5.011,00	5.015,20				
Diferença (<0,3%)		0,28	0,23				
Módulo de Finura		6,03					
D.M.C. (mm)		38mm					

A partir dos dados de porcentagem retida discreta foi possível traçar curvas granulométricas da pedra britada e do resíduo de concreto, e assim, compará-las. As curvas estão apresentadas nas Figura 4.4.

**FIGURA 4.4 – CURVA GRANULOMÉTRICA DA PEDRA BRITADA E RESÍDUO DE CONCRETO**

A partir da análise granulométrica da pedra britada e do resíduo de concreto, percebe-se que os materiais analisados são diferentes e que concretos utilizando estes agregados apresentarão características diferentes no estado fresco.

Os agregados miúdos caracterizados granulometricamente foram a areia e o resíduo de argamassa. Na elaboração dos concretos foram utilizados dois tipos de areia, denominados I e II. Somente a areia II possui a análise da granulometria a laser. Os resultados do ensaio podem ser mostrados pelas Tabelas 4.15, 4.16 e 4.17.

**TABELA 4.15 – GRANULOMETRIA DA AREIA TIPO I**

AREIA TIPO I							
		Material Retido		Porcentagem retida			
Número	mm	Amostra1	Amostra2	Amostra1	Amostra2	Média	Acumulada
1/4"	6,30	-	-	0,0%	0,0%	0%	0%
4	4,80	2,00	4,00	0,6%	1,1%	1%	1%
8	2,40	8,00	7,00	2,2%	1,9%	2%	3%
16	1,20	28,00	28,00	7,7%	7,8%	8%	11%
30	0,60	82,00	79,00	22,6%	22,0%	22%	33%
50	0,30	119,00	118,00	32,8%	32,9%	33%	66%
100	0,15	82,00	83,00	22,6%	23,1%	23%	89%
fundo	0,09	42,00	40,00	11,6%	11,1%	11%	100%
Massa final		363,00	359,00	100%	100%	100%	
Massa inicial		364,00	360,00				
Diferença (<0,3%)		0,27	0,28				
Módulo de Finura		2,02					
D.M.C. (mm)		2,4mm					

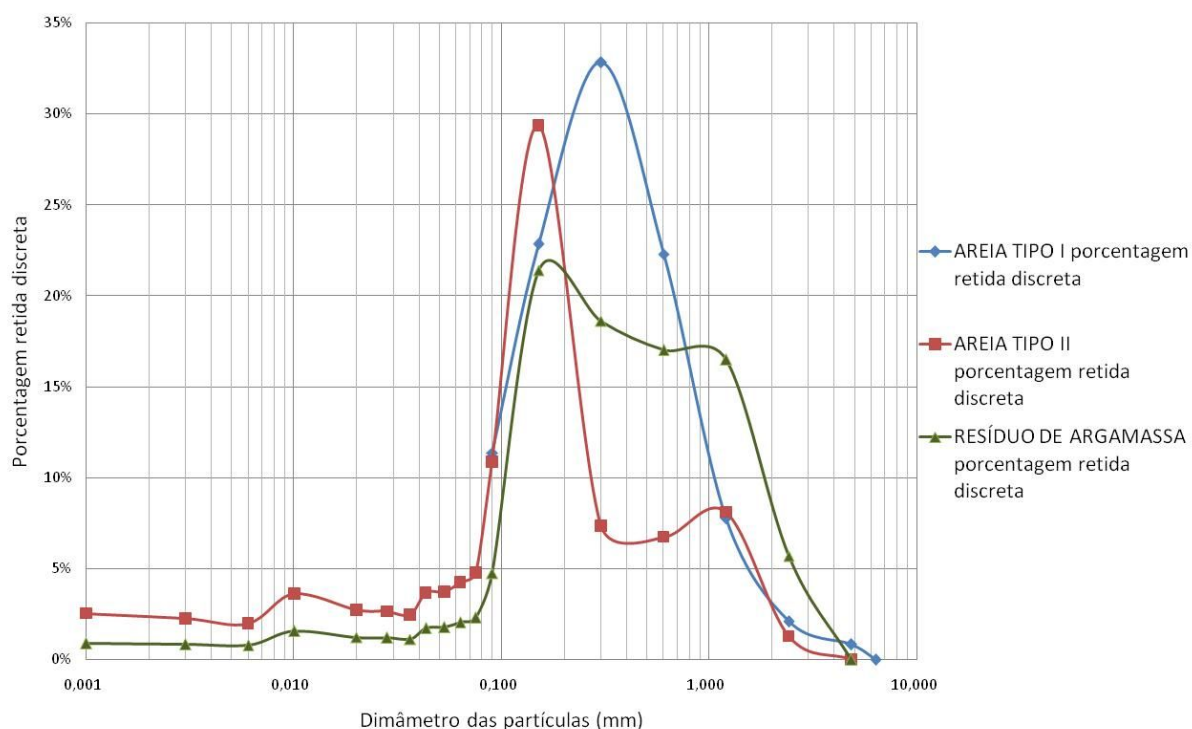
TABELA 4.16 – GRANULOMETRIA DA AREIA TIPO II

AREIA TIPO II								
	Peneira		Material Retido		Porcentagem retida			
	Número	mm	Amostra1	Amostra2	Amostra1	Amostra2	Média	Acumulada
	4	4,80	-	-	0,0%	0,0%	0%	0%
	8	2,40	5,00	3,40	1,5%	1,1%	1%	1%
	16	1,20	27,40	25,30	8,0%	8,3%	8%	9%
	30	0,60	23,20	20,60	6,7%	6,7%	7%	16%
	50	0,30	25,70	22,20	7,5%	7,2%	7%	23%
	100	0,15	101,10	89,80	29,4%	29,3%	29%	53%
Fundo	170	0,090	35,33				10,9%	64%
	200	0,075	15,55				4,8%	68%
	250	0,063	13,76				4,2%	73%
	270	0,053	12,06				3,7%	76%
	325	0,043	11,90				3,7%	80%
	400	0,036	8,01				2,5%	83%
	500	0,028	8,57				2,6%	85%
	635	0,020	8,79				2,7%	88%
		0,010	11,80				3,6%	92%
		0,006	6,44				2,0%	93%
		0,003	7,35				2,3%	96%
		0,001	8,25				2,5%	98%
			5,52				1,7%	100%
	Fundo		161,40	145,30	46,9%	47,4%	47%	100%
	Massa final		343,80	306,60	100,0%	100,0%	100,0%	
	Massa inicial		344,70	307,30				
	Diferença (<0,3%)		0,26	0,23				
	Módulo de Finura		1,03					
	D.M.C. (mm)		2,4mm					

TABELA 4.17 – GRANULOMETRIA DOS RESÍDUOS DE ARGAMASSA

RESÍDUO DE ARGAMASSA								
	Peneira		Material Retido		Porcentagem retida			
	Número	mm	Amostra1	Amostra2	Amostra1	Amostra2	Média	Acumulada
	4	4,80	-	-	0,0%	0,0%	0%	0%
	8	2,40	15,50	19,00	5,0%	6,3%	5,7%	6%
	16	1,20	48,20	52,00	15,7%	17,3%	16,5%	22%
	30	0,60	51,10	52,30	16,6%	17,4%	17,0%	39%
	50	0,30	57,40	55,80	18,7%	18,6%	18,6%	58%
	100	0,15	67,50	62,70	22,0%	20,8%	21,4%	79%
Fundo	170	0,090	14,42				4,7%	84%
	200	0,075	6,98				2,3%	86%
	250	0,063	6,21				2,0%	88%
	270	0,053	5,38				1,8%	90%
	325	0,043	5,20				1,7%	92%
	400	0,036	3,40				1,1%	93%
	500	0,028	3,62				1,2%	94%
	635	0,020	3,69				1,2%	95%
		0,010	4,72				1,6%	97%
		0,006	2,36				0,8%	98%
		0,003	2,48				0,8%	98%
		0,001	2,64				0,9%	99%
			2,26				0,7%	100%
	Fundo		67,80	59,00	22,0%	19,6%	20,8%	100%
	Massa final		307,50	300,80	100,0%	100,0%	100,0%	
	Massa inicial		307,90	300,90				
	Diferença (<0,3%)		0,13	0,03				
	Módulo de Finura		2,04					
	D.M.C. (mm)		4,8mm					

A partir dos dados de porcentagem retida discreta foi possível traçar curvas granulométricas da areia tipo I, areia tipo II e resíduo de argamassa, e através delas comparar estes agregados. As curvas estão apresentadas na Figura 4.5.



**FIGURA 4.5 – CURVA GRANULOMÉTRICA DA AREIA TIPO I, AREIA TIPO II E RESÍDUO DE ARGAMASSA**

Através da análise das curvas granulométricas resultantes pode-se perceber que se tratam de materiais diferentes. A maior quantidade de finos presente no resíduo reutilizado compromete a trabalhabilidade dos concretos gerados com a utilização deste agregado. Quando comparado com a areia tipo I, certamente o teor de água na mistura do concreto com o resíduo de argamassa, devido ao teor de finos, deve ser maior.

#### **4.2.1.2 Morfologia**

A morfologia também afetou a trabalhabilidade. Potanto, para este teste, os agregados foram classificados pelos parâmetros de esfericidade, arredondamento e grau de seleção, e foram atribuídos valores em acordo com a Tabela 3.4.

Para classificar os agregados foram retiradas amostras das frações retidas no ensaio de granulometria a seco, e estas frações foram analisadas, segundo Tabelas 4.18 a 4.21. Estas tabelas ainda trazem o valor atribuído a característica analisada, representado na coluna denominada “V.A.”, e o valor parcial, calculado pela multiplicação da porcentagem retida pelo valor atribuído, representado na coluna denominada “V.P.”.



TABELA 4.18 – MORFOLOGIA DA AREIA

AREIA				
FOTOS FONTE: LAMIR (2008)	DESCRIÇÃO	DADOS	V.A.	V.P.
	Retido na peneira (mm):	4,8		
	Porcentagem retida (P.R.):	0%		
	Esfericidade:	Baixa	2	-
	Arredondamento:	Sub-arredondado	4	-
	Grau de seleção:	Moderadamente selecionado	3	-
	Retido na peneira (mm):	2,4		
	Porcentagem retida (P.R.):	1,1%		
	Esfericidade:	Alta	1	0,01
	Arredondamento:	Sub-arredondado	4	0,04
	Grau de seleção:	Bem selecionado	4	0,04
	Retido na peneira (mm):	1,2		
	Porcentagem retida (P.R.):	8,3%		
	Esfericidade:	Baixa	2	0,17
	Arredondamento:	Anguloso	2	0,17
	Grau de seleção:	Bem selecionado	4	0,33
	Retido na peneira (mm):	0,6		
	Porcentagem retida (P.R.):	6,7%		
	Esfericidade:	Alta	1	0,07
	Arredondamento:	Sub-anguloso	1	0,20
	Grau de seleção:	Moderadamente selecionado	3	0,20
	Retido na peneira (mm):	0,3		
	Porcentagem retida (P.R.):	7,5%		
	Esfericidade:	Alta	1	0,08
	Arredondamento:	Sub-arredondado	4	0,30
	Grau de seleção:	Bem selecionado	6	0,45

TABELA 4.19 – MORFOLOGIA DO RESÍDUO DE ARGAMASSA






RESÍDUO DE ARGAMASSA				
FOTOS FONTE: LAMIR (2008)	DESCRIÇÃO	DADOS	V.A.	V.P.
	Retido na peneira (mm):	2,4		
	Porcentagem retida:	5,7%		
	Esfericidade:	Alta	1	0,06
	Arredondamento:	Sub-anguloso	3	0,17
	Grau de seleção:	Bem selecionado	4	0,23
	Retido na peneira (mm):	1,2		
	Porcentagem retida:	16,5%		
	Esfericidade:	Alta	1	0,17
	Arredondamento:	Sub-anguloso	3	0,50
	Grau de seleção:	Moderadamente selecionado	3	0,50
	Retido na peneira (mm):	0,6		
	Porcentagem retida:	17%		
	Esfericidade:	Alta	1	0,17
	Arredondamento:	Anguloso	2	0,34
	Grau de seleção:	Bem selecionado	4	0,68
	Retido na peneira (mm):	0,3		
	Porcentagem retida:	18,6%		
	Esfericidade:	Alta	1	0,19
	Arredondamento:	Anguloso	2	0,37
	Grau de seleção:	Bem selecionado	4	0,74
	Retido na peneira (mm):	0,15		
	Porcentagem retida:	21,4%		
	Esfericidade:	Alta	1	0,21
	Arredondamento:	Sub-anguloso	3	0,64
	Grau de seleção:	Bem selecionado	4	0,86

TABELA 4.20 – MORFOLOGIA DA PEDRA BRITADA

PEDRA BRITADA				
FOTOS FONTE: LAMIR (2008)	DESCRIÇÃO	DADOS	V.A.	V.P.
A photograph showing several large, angular, light-colored crushed stone fragments. A ruler at the bottom indicates a scale from 0 to 5 cm.	Retido na peneira (mm):	19,0		
	Porcentagem retida:	6%		
	Esfericidade:	Baixa	2	0,12
	Arredondamento:	Anguloso	2	0,12
	Grau de seleção:	Bem selecionado	4	0,24
A photograph showing a larger quantity of medium-sized, angular, light-colored crushed stone fragments. A ruler at the bottom indicates a scale from 0 to 5 cm.	Retido na peneira (mm):	12,5		
	Porcentagem retida:	48%		
	Esfericidade:	Baixa	2	0,96
	Arredondamento:	Anguloso	2	0,96
	Grau de seleção:	Bem selecionado	4	1,92
A photograph showing a larger quantity of small, angular, light-colored crushed stone fragments. A ruler at the bottom indicates a scale from 0 to 5 cm.	Retido na peneira (mm):	9,5		
	Porcentagem retida:	25%		
	Esfericidade:	Baixa	2	0,50
	Arredondamento:	Anguloso	2	0,50
	Grau de seleção:	Moderadamente selecionado	3	0,75
A photograph showing a larger quantity of very small, angular, light-colored crushed stone fragments. A ruler at the bottom indicates a scale from 0 to 5 cm.	Retido na peneira (mm):	6,3		
	Porcentagem retida:	14%		
	Esfericidade:	Baixa	2	0,28
	Arredondamento:	Anguloso	2	0,28
	Grau de seleção:	Bem selecionado	4	0,56
A photograph showing a larger quantity of very small, angular, light-colored crushed stone fragments. A ruler at the bottom indicates a scale from 0 to 5 cm.	Retido na peneira (mm):	4,8		
	Porcentagem retida:	3%		
	Esfericidade:	Baixa	2	0,06
	Arredondamento:	Anguloso	2	0,06
	Grau de seleção:	Moderadamente selecionado	3	0,09



TABELA 4.21 – MORFOLOGIA DO RESÍDUO DE CONCRETO

RESÍDUO DE CONCRETO - Continua				
FOTOS FONTE: LAMIR (2008)	DESCRIÇÃO	DADOS	V.A.	V.P.
	Retido na peneira (mm):	32,0		
	Porcentagem retida:	7%		
	Esfericidade:	Alta	1	0,07
	Arredondamento:	Anguloso	2	0,14
	Grau de seleção:	Bem selecionado	4	0,28
	Retido na peneira (mm):	25,0		
	Porcentagem retida:	8%		
	Esfericidade:	Alta	1	0,08
	Arredondamento:	Anguloso	2	0,16
	Grau de seleção:	Bem selecionado	4	0,32
	Retido na peneira (mm):	19,0		
	Porcentagem retida:	29%		
	Esfericidade:	Alta	1	0,29
	Arredondamento:	Anguloso	2	0,58
	Grau de seleção:	Bem selecionado	4	1,16
	Retido na peneira (mm):	12,5		
	Porcentagem retida:	21%		
	Esfericidade:	Alta	1	0,21
	Arredondamento:	Anguloso	2	0,42
	Grau de seleção:	Moderadamente selecionado	3	0,63

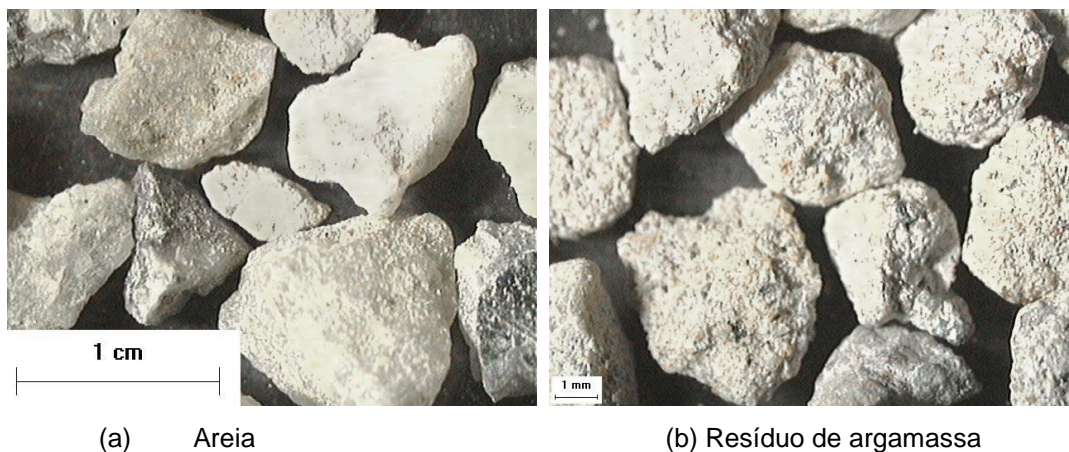
RESÍDUO DE CONCRETO - Conclusão				
FOTOS FONTE: LAMIR (2008)	DESCRIÇÃO	DADOS	V.A.	V.P.
	Retido na peneira (mm):	9,5		
	Porcentagem retida:	7%		
	Esfericidade:	Baixa	2	0,14
	Arredondamento:	Anguloso	1	0,07
	Grau de seleção:	Bem selecionado	4	0,28
	Retido na peneira (mm):	6,3		
	Porcentagem retida:	6%		
	Esfericidade:	Baixa	2	0,12
	Arredondamento:	Anguloso	1	0,06
	Grau de seleção:	Bem selecionado	4	0,24
	Retido na peneira (mm):	4,8		
	Porcentagem retida:	4%		
	Esfericidade:	Baixa	2	0,08
	Arredondamento:	Anguloso	1	0,04
	Grau de seleção:	Bem selecionado	4	0,16

TABELA 4.22 – MORFOLOGIA DOS MATERIAIS ANALISADOS

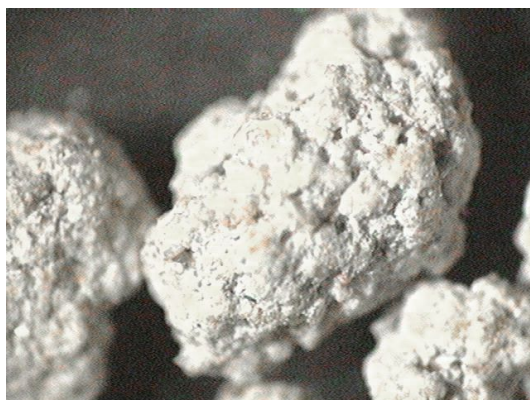
MATERIAL	AREIA	RESÍDUO DE ARGAMASSA	BRITA	RESÍDUO DE CONCRETO
% TOTAL ANALISADA	82	23,6	79,2	96,9
$\sum V.P.$	0,32	0,79	1,92	0,99
$V.A. = \sum V.P. / \%$	1,35	1	2	1,21
Esfericidade	Alta	Alta	Alta	Alta
$\sum V.P.$	0,71	2,02	1,92	1,47
$V.A. = \sum V.P. / \%$	3,01	2,55	2	1,79
Arredondamento	Sub-anguloso	Sub-anguloso	Anguloso	Anguloso
$\sum V.P.$	1,03	3	3,56	3,07
$V.A. = \sum V.P. / \%$	4,35	3,79	3,71	3,74
Grau de seleção	Bem selecionado	Bem selecionado	Bem selecionado	Bem selecionado

Na Tabela 4.22 é apresentada a análise geral dos agregados, onde a linha denominada “% TOTAL ANALISADA” representa a soma da porcentagem retida apresentada nas Tabelas 4.18 a 4.21, as linhas denominadas “ $\sum$  V.P.” são resultado da soma dos valores parciais apresentados nas Tabelas 4.18 a 4.21 e as linhas denominadas “V.A. =  $\sum$  V.P. / %” são resultados da razão das linhas “ $\sum$  V.P.” pela linha “% TOTAL ANALISADA” e representam a classificação obtida para os agregados, a partir do valor atribuído.

Além da classificação de esfericidade, arredondamento e grau de seleção, foi possível observar a rugosidade dos materiais analisados. Por comparação visual, os agregados reciclados são mais rugosos que os agregados naturais, o que influencia na trabalhabilidade e resistência do concreto. A diferença de rugosidade entre a areia e o resíduo de argamassa pode ser observada nas Figuras 4.6 e 4.7.

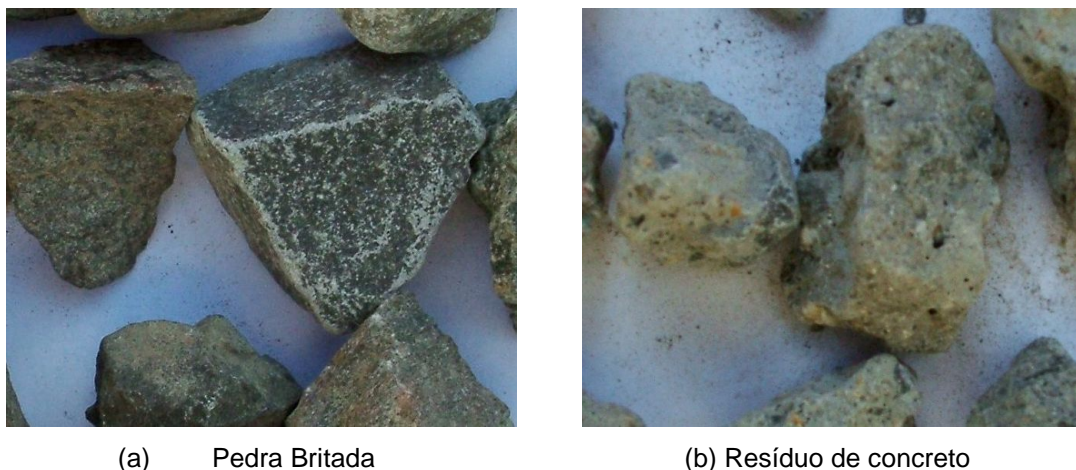


**FIGURA 4.6 – MORFOLOGIA – AREIA E RESÍDUO DE ARGAMASSA**



**FIGURA 4.7 – RESÍDUO DE ARGAMASSA**

A diferença de rugosidade entre a pedra britada e o resíduo de concreto pode ser observada na Figura 4.8.



(a) Pedra Britada

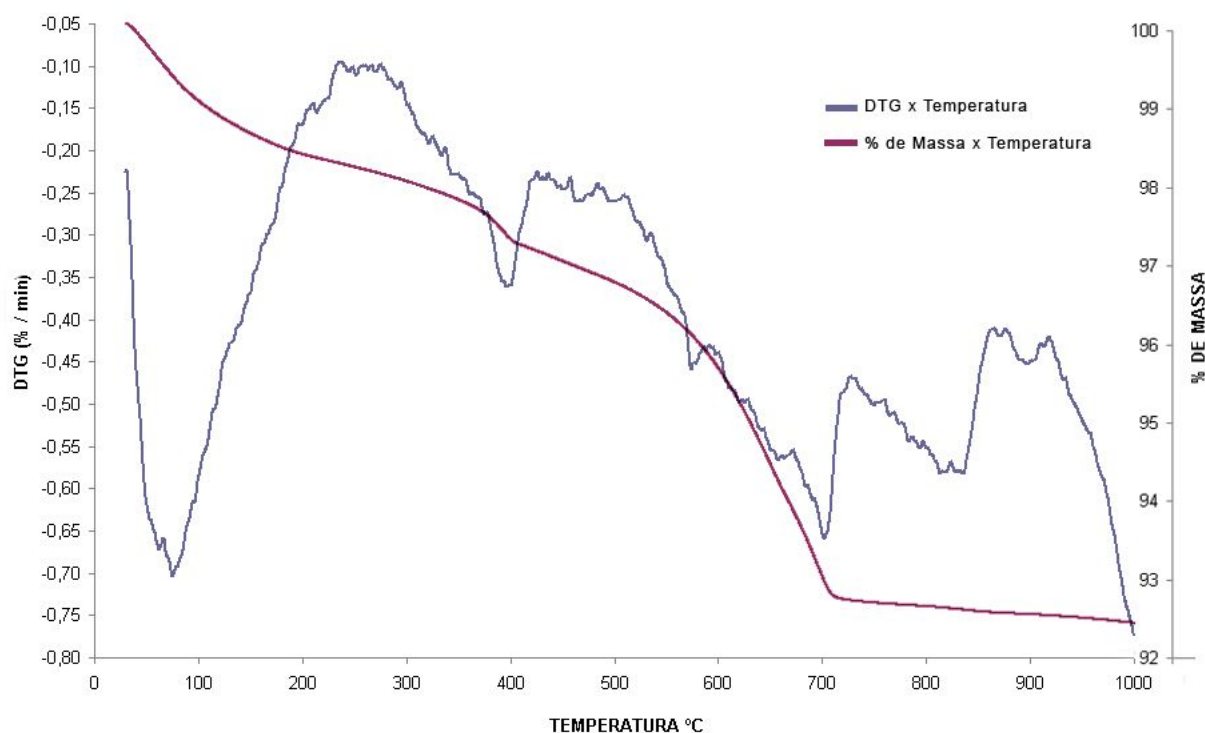
(b) Resíduo de concreto

**FIGURA 4.8 – MORFOLOGIA – PEDRA BRITADA E RESÍDUO DE CONCRETO**

Ao observar as Figuras 4.6 a 4.8 também é possível verificar a alta superfície específica dos agregados reciclados, que provavelmente comprometem a trabalhabilidade do concreto. O teor de água ou o emprego de aditivos deve ser considerado para o ajuste da trabalhabilidade desejada.

#### 4.2.1.3 Termogravimetria

Realizada para o resíduo de argamassa, com o tempo de ensaio, calor utilizado e peso da amostra foi elaborado o gráfico apresentado na Figura 4.9

**FIGURA 4.9 - TERMOGRAVIMETRIA DO RESÍDUO DE ARGAMASSA**

Para a volatilização dos componentes o calor aplicado variou entre 100° C e 1.000° C. Os resultados deste teste são apresentados na Tabela 4.23.

**TABELA 4.23 – COMPONENTES PRÉ - IDENTIFICADOS NA TERMOGRAVIMETRIA**

COMPONENTE IDENTIFICADO	CALOR DE VOLATIZAÇÃO (°C)
Água	Até 100° C
Aditivos e matéria orgânica	Entre 200° C e 500° C
Dolomita e calcita	Entre 500° C e 900° C

A argamassa foi elaborada com areia, cal e cimento. Deve ser mencionado que a dolomita e a calcita, minerais determinados na termogravimetria, têm sua origem na cal presente na mistura. Os componentes pré-identificados na termogravimetria devem ser confirmados por outra análise, neste estudo, pela difração de raios-X.

#### **4.2.1.4 Difração de Raios - X**

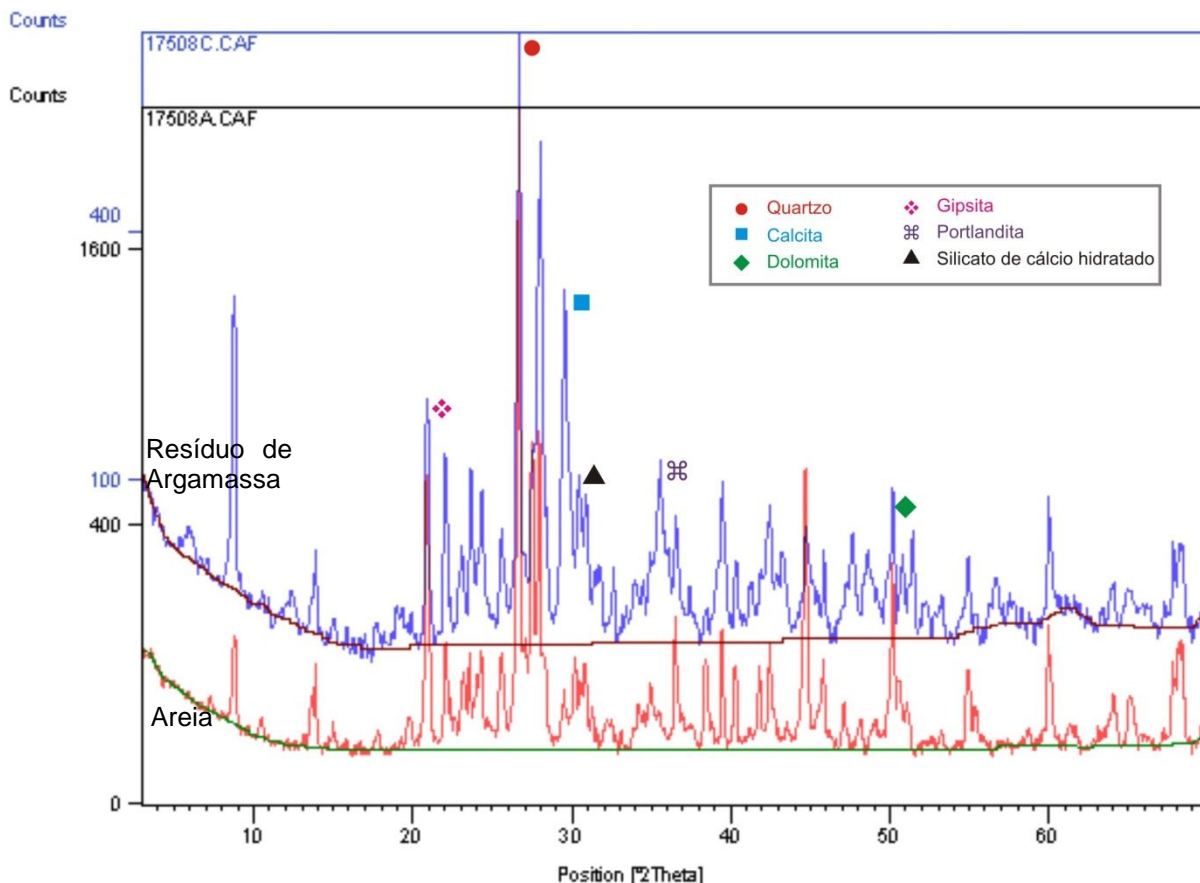
Este ensaio foi utilizado para identificar as fases químicas dos agregados e apresentou os resultados listados na Tabela 4.24.

**TABELA 4.24 – COMPONENTES IDENTIFICADOS PELA DRX**

MATERIAL	COMPOSIÇÃO	FÓRMULA
Areia	Quartzo	Si O <sub>2</sub>
Resíduo de Argamassa	Quartzo	Si O <sub>2</sub>
	Calcita	Ca C O <sub>3</sub>
	Dolomita	Ca Mg (C O <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
	Gipsita	Ca S O <sub>4</sub> 2(H <sub>2</sub> O)
	Portlandita	Ca (O H) <sub>2</sub>
	Silicato de cálcio hidratado	Ca <sub>2</sub> Si O <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O
Pedra britada	Quartzo	Si O <sub>2</sub>
Resíduo de concreto	Quartzo	Si O <sub>2</sub>
	Portlandita	Ca (O H) <sub>2</sub>
	Silicato de cálcio hidratado	Ca <sub>2</sub> Si O <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O

Nas Figuras 4.10 e 4.11 são apresentados os difratogramas e neles as fases químicas encontradas.



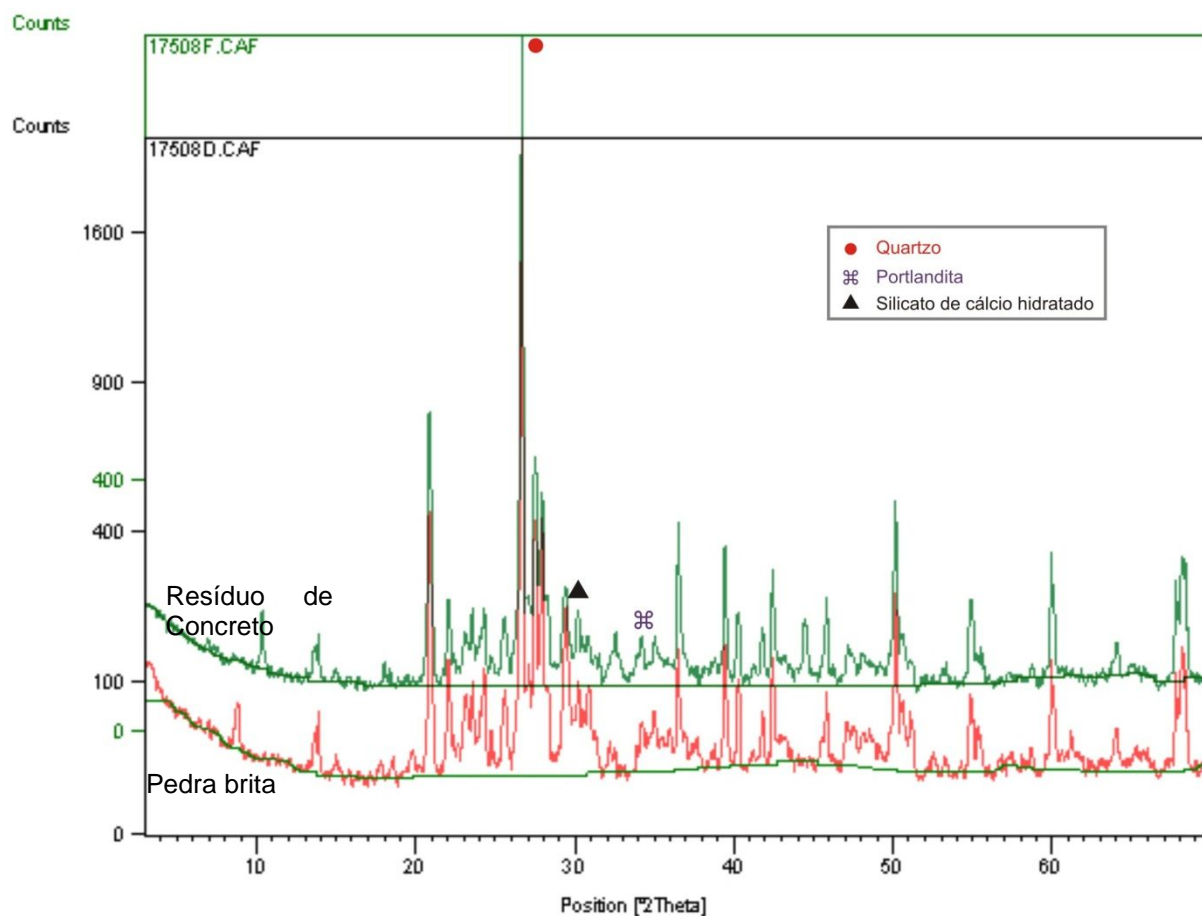


**FIGURA 4.10 – DRX: AREIA E RESÍDUO DE ARGAMASSA**

As principais fases químicas dos agregados estudados são apresentados nas Figuras 4.10 e 4.11.

O quartzo, identificado na Figura 4.10, caracteriza a areia. O resíduo de argamassa era constituído de areia, cal e cimento, portanto, apresentou quartzo, proveniente da areia, calcita e dolomita, provenientes da cal, indicando material não calcinado no produto, além destes, a gipsita, portlandita e silicato de cálcio hidratado foram provenientes do cimento hidratado.

O quartzo, indicado na Figura 4.11 caracteriza a origem da rocha da pedra britada. O resíduo de concreto era constituído de areia, pedra britada e cimento, portanto, apresentou quartzo, proveniente da areia e rocha britada, além de portlandita e silicato de cálcio hidratado, provenientes do cimento hidratado.



**FIGURA 4.11 – DRX: PEDRA BRITADA E RESÍDUO DE CONCRETO**

Em função dos resultados deste teste, os difratogramas confirmam então que os agregados utilizados possuem fases químicas diferenciadas.

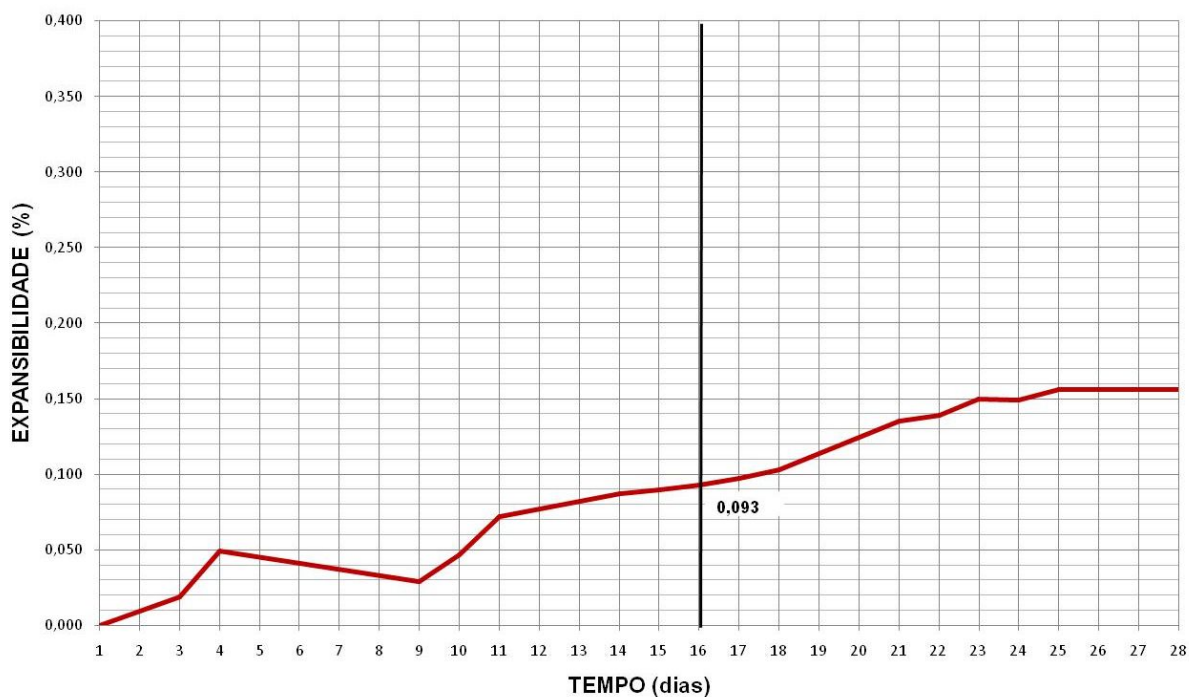
#### **4.2.1.5 Reatividade Potencial**

A idade de análise dos resultados de reatividade potencial é dada aos 16 dias. Na maioria dos casos, expansões menores que 0,1%, aos 16 dias, indicam um comportamento inócuo; superiores a 0,2%, indicam expansões potencialmente deletérias e as expansões que estão entre estes dois valores, sugerem a realização de outros ensaios para análise do comportamento do material.

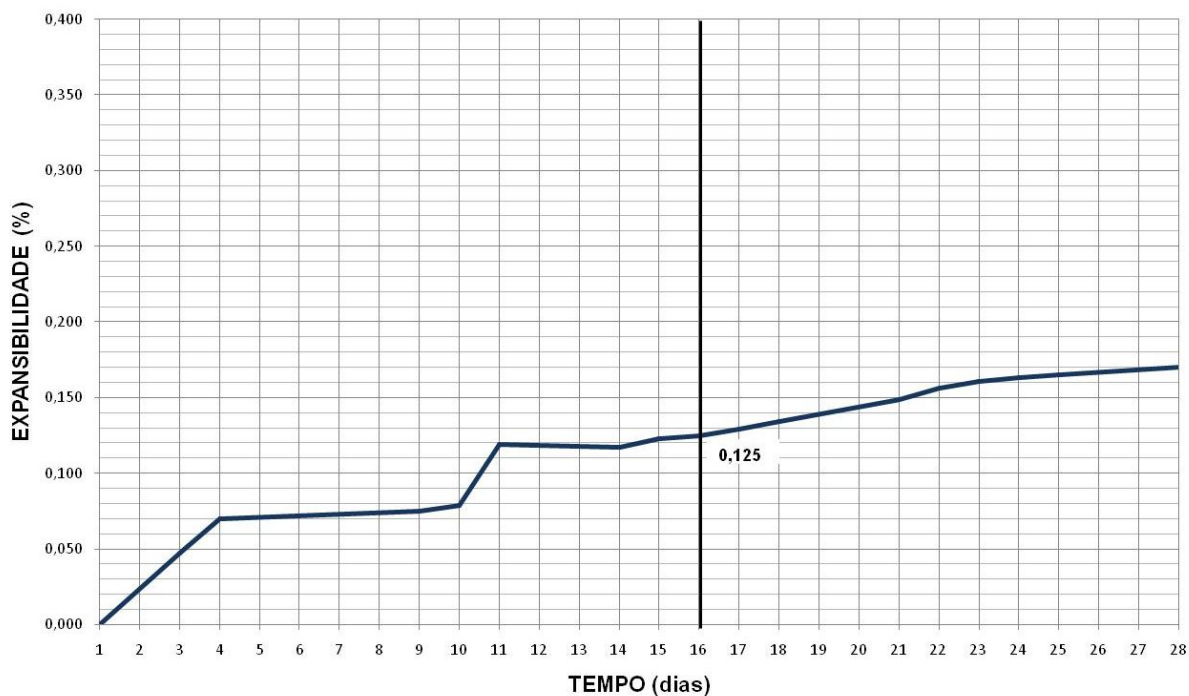
Os gráficos de expansão dos materiais estudados são apresentados nas Figuras 4.12 a 4.15. Na Figura 4.12 é apresentado o gráfico obtido pela análise da pedra britada, que aos 16 dias apresentou expansão de 0,093%, podendo ser classificada como inócua, não necessitando de mais estudos.

A areia, o resíduo de argamassa e o resíduo de concreto (FIGURAS 4.13, 4.14 e 4.14), respectivamente, apresentaram valores de reatividade potencial no

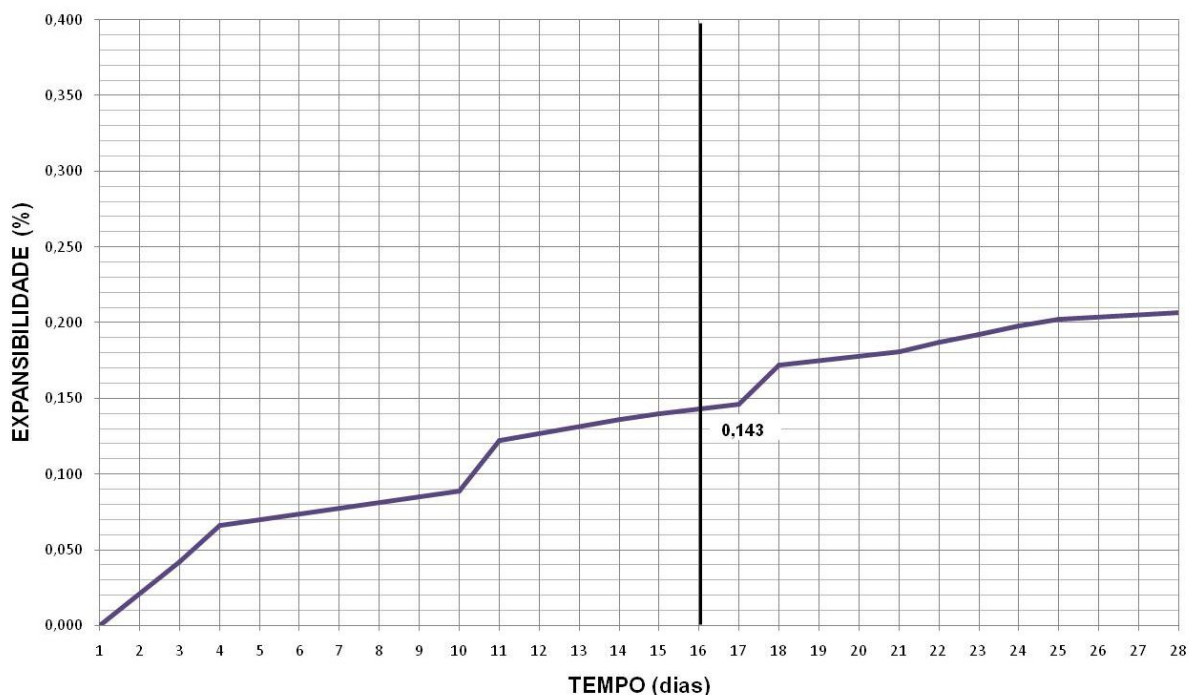
intervalo de 0,1% a 0,2%, não sendo classificadas como deletérias, não sendo, também, inócuas, portanto, necessitam ser estudados com mais detalhes.



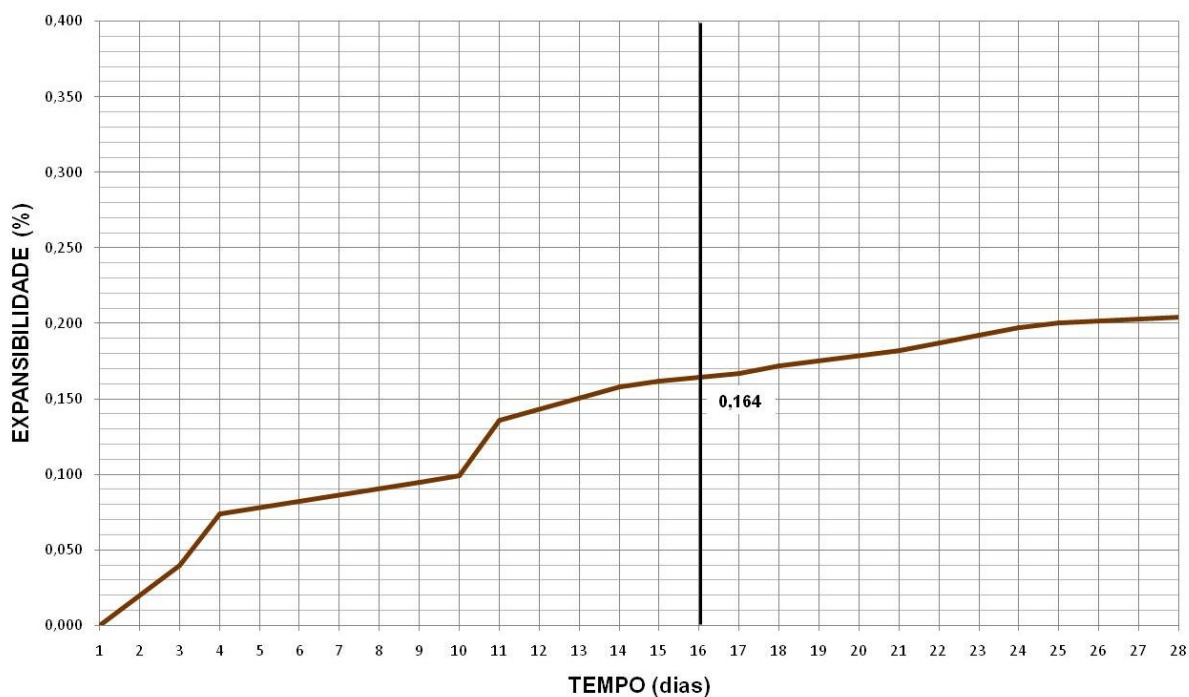
**FIGURA 4.12 – RESULTADO DO ENSAIO DE REATIVIDADE DA PEDRA BRITADA**



**FIGURA 4.13 – RESULTADO DO ENSAIO DE REATIVIDADE DA AREIA**



**FIGURA 4.14 – RESULTADO DO ENSAIO DE REATIVIDADE DO RESÍDUO DE ARGAMASSA**



**FIGURA 4.15 – RESULTADO DO ENSAIO DE REATIVIDADE DO RESÍDUO DE CONCRETO**

De acordo com considerações da metodologia de ensaio utilizada, ao observar os resultados deste teste, pode-se dizer somente que a pedra britada utilizada é inerte. Os outros materiais apresentam um indicativo de reatividade, porém, é provável que estas reações não sejam deletérias.

## 4.2.2 CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO

### 4.2.2.1 Verificação da resistência a compressão simples

Para as misturas de concreto em substituição à pedra britada, apresentadas na seção de materiais e métodos (TABELAS 3.6, 3.7 e 3.8), e para as misturas de argamassa em substituição à areia (TABELAS 3.9, 3.10 e 3.11), foram retirados dois corpos-de-prova. Para as misturas de concreto em substituição à pedra britada e argamassa em substituição à areia (TABELAS 3.12 a 3.20), foram retirados dois corpos-de-prova, rompidos a 7 e 28 dias. Os resultados estão apresentados na Tabela 4.25.

**TABELA 4.25 - RESISTÊNCIAS ATINGIDAS**

MISTURA	fcj 7 DIAS (MPa)		fcj 28 DIAS (MPa)	
	Teste 1	Teste 2	Teste 1	Teste 2
Traço Base	11,7	-	19,4	-
Conc 33%	9,8	13,5	16,6	19,1
Conc 66%	15,0	12,2	21,4	16,6
Conc 100%	11,8	10,7	18,8	14,3
Arg 33%	10,2	-	13,8	-
Arg 66%	12,0	-	16,6	-
Arg 100%	8,9	-	10,9	-
Arg 33% e Conc 100%	6,4	-	10,2	-
Arg 33% e Conc 66%	8,1	-	10,9	-
Arg 33% e Conc 33%	10,3	-	15,3	-
Arg 66% e Conc 100%	4,6	-	5,1	-
Arg 66% e Conc 66%	8,1	-	9,7	-
Arg 66% e Conc 33%	8,9	-	11,5	-
Arg 100% e Conc 100%	3,8	-	5,1	-
Arg 100% e Conc 66%	5,9	-	6,4	-
Arg 100% e Conc 33%	6,9	-	8,7	-

Para a elaboração das curvas de comportamento do concreto foram reelaborados os concretos que atingiram resistência próxima a 20 MPa, sendo:

- concreto com resíduos de concreto substituindo 33%, 66% da pedra britada, traços apresentados nas Tabelas 3.6 e 3.7.

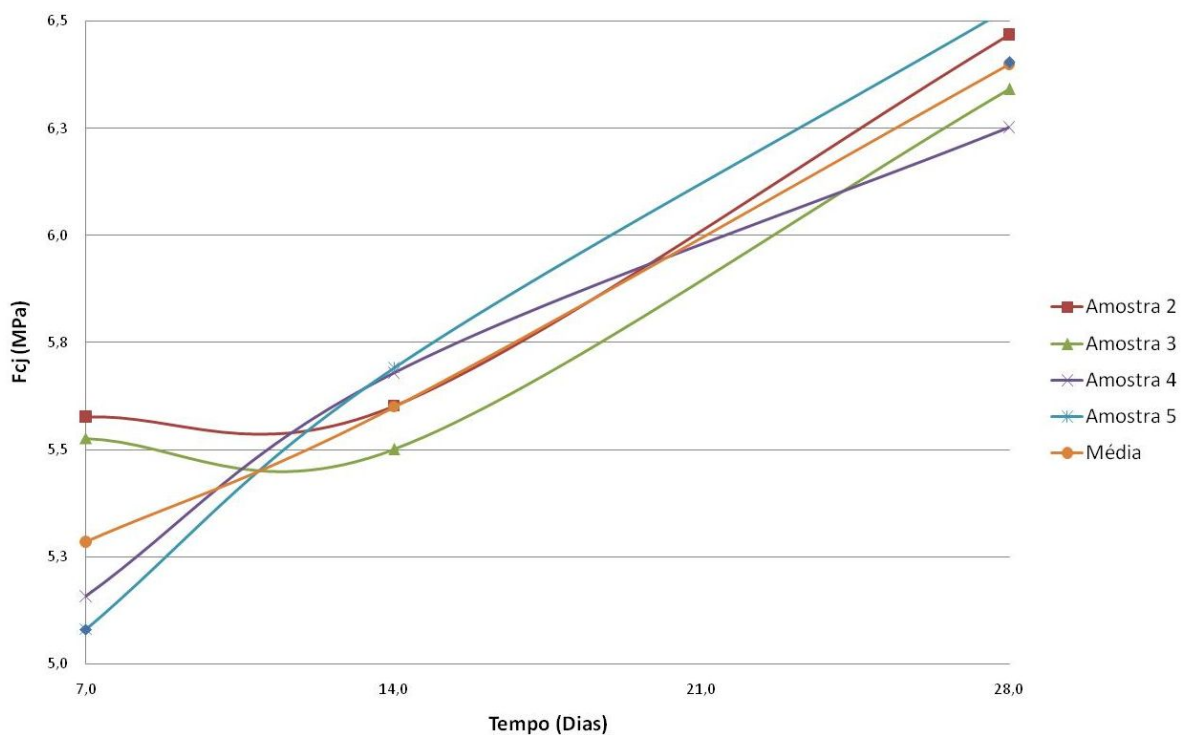
Nesta fase, os concretos foram reelaborados seguindo o fator a/c de 0,5 e, então, retirados 15 corpos-de-prova de cada traço para o rompimento a 7, 14 e 28 dias, com valores apresentados na Tabela 4.26.

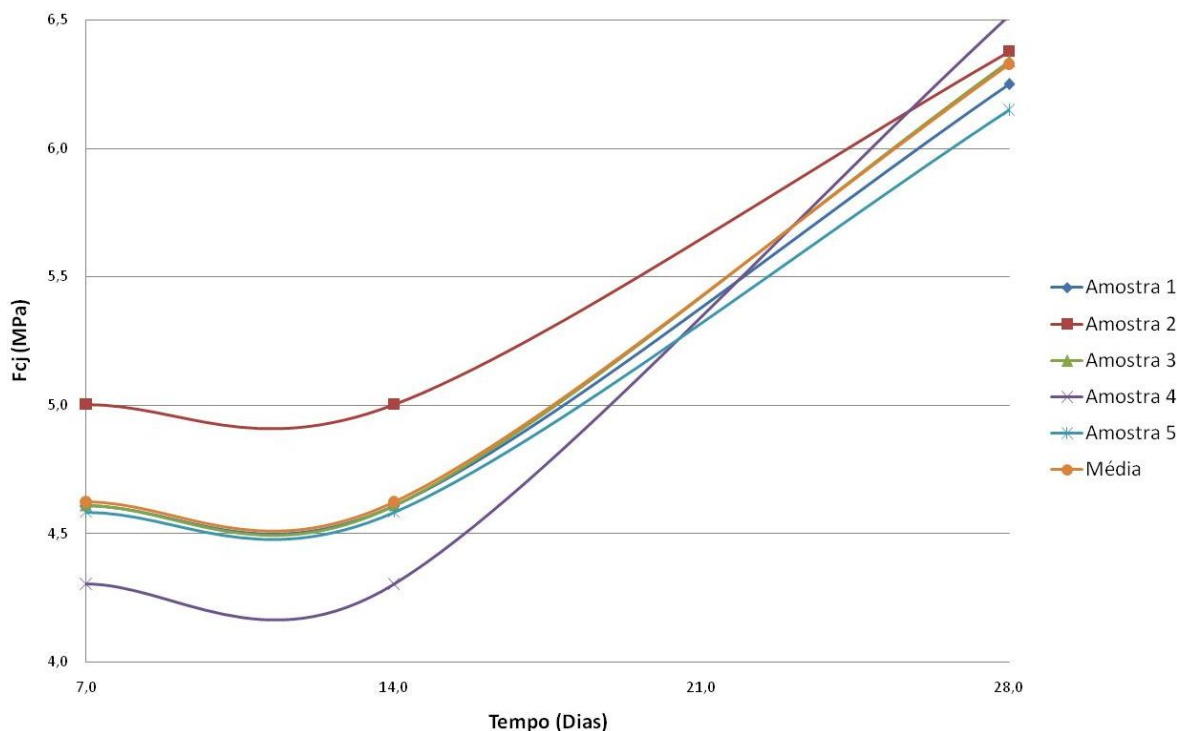
**TABELA 4.26 - RESISTÊNCIAS A 7, 14 E 28 DIAS**

MISTURA	AMOSTRA	F <sub>cj</sub>		
		7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
RESÍDUO DE CONCRETO 33%	1	5,1	6,0*	6,4
	2	5,6	5,6	6,5
	3	5,5	5,5	6,3
	4	5,2	5,7	6,3
	5	5,1	5,7	6,5
	Média	5,3	5,6	6,4
RESÍDUO DE CONCRETO 66%	1	4,6	4,6	6,3
	2	5,0	5,0	6,4
	3	4,6	4,6	6,3
	4	4,3	4,3	6,5
	5	4,6	4,6	6,1
	Média	4,6	4,6	6,3

Obs. (\*) Valor excluído por análise estatística

Através dos valores apresentados na Tabela 4.25 foram traçados gráficos de resistência em função do tempo para as misturas, representados nas Figuras 4.16 e 4.17.

**FIGURA 4.16 – RESISTÊNCIA VERSUS TEMPO – CONCRETO 33%**



**FIGURA 4.17 – RESISTÊNCIA VERSUS TEMPO – CONCRETO 66%**

Os concretos produzidos para rompimento a 7, 14 e 28 dias apresentaram resistência significativamente menor que concretos anteriormente gerados. Pode-se atribuir este baixo desempenho à alta presença de finos nos agregados substituídos e na areia utilizada para elaboração destes novos concretos, sendo esta a areia Tipo II. Estes finos, ao absorver a água, podem prejudicar a resistência atingida pelo concreto ao dificultar a trabalhabilidade, aumentar o índice de vazios e impedir parte da hidratação do cimento. Cabe destacar que a relação a/c foi mantida constante para todos os concretos. Levando-se em conta as características morfológicas e diferenças da granulometria dos agregados, certamente a trabalhabilidade dos mesmos foi distinta, determinando desempenhos diferentes de moldagem dos corpos-de-prova. Neste caso a existência de vazios nos corpos-de-prova foi nítida (FIGURA 4.18) e comprometeu a uniformidade de resistência entre eles, e, a resistência propriamente dita dos concretos.

Os concretos gerados a partir de agregados reciclados de concreto apresentaram curvas semelhantes, indicando estabilização no acréscimo de resistência (FIGURA 4.16 e 4.17).

A diminuição da trabalhabilidade pode ser observada na moldagem dos corpos-de-prova, que foi dificultada pois o concreto gerado com resíduos tornou-se “seco”.



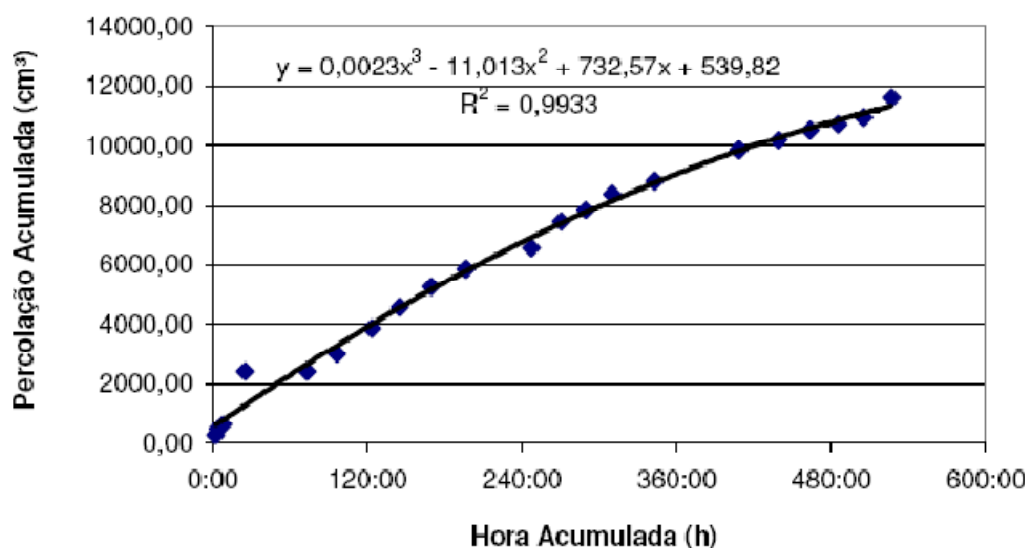


**FIGURA 4.18 – CONCRETO MOLDADO COM RESÍDUOS - VAZIOS**

FONTE: Bianco Tecnologia do Concreto

#### **4.2.2.2 Permeabilidade**

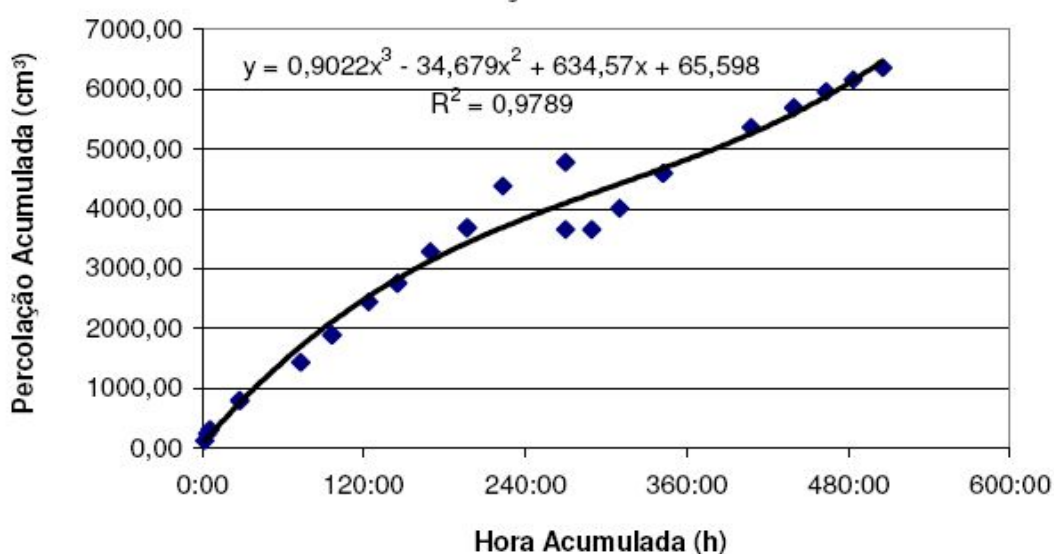
Para análise da permeabilidade foram elaborados e testados o concreto com 66% de resíduos de concreto e o concreto com 66% de resíduos de argamassa. Os resultados são apresentados nas Figuras 4.19 e 4.20, em termos de percolação versus hora.



**FIGURA 4.19 – PERMEABILIDADE DO CONCRETO GERADO COM RESÍDUO DE ARGAMASSA**

FONTE: LAME – Laboratório de Materiais e Estruturas (2008)





**FIGURA 4.20 – PERMEABILIDADE DO CONCRETO GERADO COM RESÍDUO DE CONCRETO**

FONTE: LAME – Laboratório de Materiais e Estruturas (2008)

O concreto gerado com resíduos de argamassa, a 500 h de ensaio, resultou na percolação de um volume de água de 11.042,54 cm³, sendo que em 32 dias obteve uma taxa de percolação de  $K=2,12 \cdot 10^{-7}$  cm/s. No concreto gerado com resíduos de concreto, a 500 h de ensaio, resultou na percolação de um volume de água de 6.392,07 cm³, sendo que em 32 dias obteve uma taxa de percolação de  $K=1,88 \cdot 10^{-7}$  cm/s. Os concretos gerados com agregados reciclados apresentaram permeabilidade próxima à de concretos gerados com agregados naturais, para os quais a taxa de percolação varia de  $k=10^{-7}$  cm/s a  $k=10^{-9}$  cm/s, sendo, portanto, o resultado deste teste foi satisfatório.

Do resultado dos testes pode-se deduzir que o concreto gerado com resíduos absorve mais água, isso porque os resíduos possuem maior presença de finos e maior superfície específica. A absorção de água é indesejada, pois prejudica a trabalhabilidade do concreto e gera alto índice de vazios. Portanto, o concreto gerado com resíduos de argamassa é mais permeável, pois a superfície específica presente nos agregados da mistura é quantitativamente maior, se comparada ao concreto gerado com resíduos de concreto. Assim, foi observado que a trabalhabilidade foi prejudicada, aumentando o índice de vazios da mistura, resultantes das dificuldades de moldagem.

#### **4.2.3 CORRELAÇÃO ENTRE AS CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS E AS CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO**

Para uma melhor análise dos resultados obtidos no estudo do concreto, é necessário correlacionar todos os resultados obtidos na caracterização dos agregados, pois a qualidade e durabilidade do concreto resultante teve influência das características dos agregados. Um resumo dos resultados obtidos foi apresentado na Tabela 4.27.

Como pode ser observado, em função dos resultados obtidos, quando se trabalha com os agregados naturais e reciclados (resíduos), o único agregado inerte foi a brita, os outros agregados apresentaram reatividade e precisam de estudos complementares para definir o seu potencial deletério.

Ao observar os testes de TG e DRX, percebe-se que os agregados naturais e os resíduos possuem características químicas diferentes.

Ao analisar os resultados obtidos na análise granulométrica, que apresentou alta porcentagem de finos para areia tipo II, o resíduo de argamassa e o resíduo de concreto, pode-se afirmar que esta porcentagem de finos foi prejudicial ao concreto pois interferiu na absorção de água da mistura, prejudicando sua trabalhabilidade. Cabe destacar que os resíduos podem ser utilizados desde que se considere esta questão na dosagem o concreto, adicionando água ou aditivo à mistura.

Outro fator que indica o comprometimento da trabalhabilidade foi a alta porosidade e, conseqüentemente, a alta superfície específica dos resíduos utilizados, que também absorvem água da mistura. Esta falta de trabalhabilidade causou a não uniformidade na moldagem de corpos-de-prova, pois, apesar de não ter sido determinado neste estudo, o “slump” (teste que mede a trabalhabilidade) em concretos gerados com resíduos foi menor que em concretos gerados com agregados naturais. A dificuldade de moldagem favoreceu a geração de vazios no concreto, e, portanto, prejudicou a resistência e aumentou a permeabilidade dos concretos gerados.

O concreto gerado com resíduos de argamassa, que possui 21% de finos, alta porosidade e alta superfície específica, e areia tipo I, que possui 11% de finos, apresentou resistência à compressão simples variando de 10,9 a 16,6 com diferentes traços e mesmo a/c. Esta variação demonstra que a superfície específica teve influência na trabalhabilidade e, conseqüentemente, na resistência obtida pelo

TABELA 4.27 – CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS E DO CONCRETO

ITEM	AREIA Tipo I e Tipo II	RESÍDUO DE ARGAMASSA	BRITA	RESÍDUO DE CONCRETO	CONCRETO COM RESÍDUO DE ARGAMASSA	CONCRETO COM RESÍDUO DE CONCRETO
Análise granulométrica	Distribuição granulométrica diferente, alta proporção de finos na areia Tipo II e no resíduo de argamassa, interferência negativa na trabalhabilidade	Distribuição granulométrica diferente, alta proporção de finos na areia Tipo II e no resíduo de argamassa, interferência negativa na trabalhabilidade	Distribuição granulométrica diferente, interferência na trabalhabilidade	-	-	-
Análise morfológica	Areia tipo II e resíduo de argamassa, possuem a mesma classificação, com esfericidade alta, arredondamento sub-angular e bem selecionado. Ao observar os agregados percebe-se maior porosidade e, consequentemente, maior superfície específica no resíduo.	Areia tipo II e resíduo de argamassa, possuem a mesma classificação, com esfericidade alta, arredondamento sub-angular e bem selecionado. Ao observar os agregados percebe-se maior porosidade e, consequentemente, maior superfície específica no resíduo.	Possuem a mesma classificação, com esfericidade alta, arredondamento angular e bem selecionado. Ao observar os agregados percebe-se maior porosidade e, consequentemente, maior superfície específica no resíduo.	-	-	-
Termogravimetria	-	Identificou a água, dolomita e calcita	-	-	-	-
Difração de raios-X	Areia tipo II identificou quartzo	Identificou quartzo, calcita, dolomita, gipsita, portlandita e silicato de cálcio hidratado	Identificou quartzo	Identificou quartzo, portlandita e silicato de cálcio hidratado	-	-
Reatividade potencial	Areia tipo II Reativa	Reativo	Inerte	Reativo	-	-
Resistência a compressão (28 dias)	-	-	-	-	Feito com areia tipo I, variou entre 10,9 MPa e 16,6 MPa	Feito com areia tipo I e II, variou entre 6,1 MPa e 21,4 MPa
Permeabilidade (32 dias)	-	-	-	-	K= 2,12x10 <sup>-7</sup> cm / s	K= 1,88x10 <sup>-7</sup> cm / s

concreto gerado, ressaltando que a menor resistência foi atingida na mistura que possuía maior proporção de resíduos.

A influência da trabalhabilidade pode ser observada também pelas resistências atingidas em concretos com resíduos de concreto, gerados com areia tipo I e II, em que a areia tipo II possuía 47% de finos e a areia tipo I, 11% de finos. Para o mesmo traço de concreto e mesma relação a/c, a resistência variou de 21,4 MPa (concreto gerado com areia tipo I) a 6,1 MPa (concreto gerado com areia tipo II). A diminuição da trabalhabilidade do concreto, devido à alta porcentagem de finos, dificultou a moldagem de corpos-de-prova e gerou vazios que prejudicaram sua resistência.

Os concretos gerados para análise da permeabilidade tiveram suas trabalhabilidades prejudicadas pela alta quantidade de finos dos agregados naturais e dos resíduos. Outro fator importante em relação a trabalhabilidade foi a alta rugosidade e a alta superfície específica dos resíduos utilizados, que provocaram a não uniformização da moldagem, alto índice de vazios e, conseqüentemente, maior permeabilidade. Ao comparar o concreto gerado com resíduos de argamassa e o concreto gerado com resíduos de concreto percebe-se que o concreto gerado com resíduos de argamassa apresentou maior permeabilidade devido à maior presença de finos e maior falta de uniformidade na moldagem dos corpos-de-prova.

Ao correlacionar a reatividade potencial, que identificou os resíduos como reativos, e a permeabilidade, pode-se ter um indicativo de durabilidade, em que o concreto gerado não é deletério, mas pode não ser tão durável quanto um concreto gerado a partir de agregados naturais.

Por isso, é de extrema importância o controle da qualidade dos agregados utilizados, naturais ou reciclados, pois eles afetam a trabalhabilidade do concreto, influenciando em sua resistência e durabilidade.

Pode-se também afirmar que os concretos gerados com a utilização de resíduos apresentaram custos de produção maiores do que concretos gerados a partir de agregados naturais, pois precisam de mais cimento para atingir a mesma resistência à compressão, sendo que o cimento é o componente mais dispendioso utilizado no concreto.

Portanto, é possível gerar concretos estruturais com a utilização de agregados reciclados, desde que todos os agregados utilizados sejam bem caracterizados e selecionados, utilizando aditivos para corrigir sua trabalhabilidade.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O método adotado para o gerenciamento de resíduos foi eficiente em função do porte da obra, considerando que os resíduos tiveram baixa geração específica, sendo 34,2 kg/m<sup>2</sup>. O programa implantado atingiu eficiência total em relação ao reaproveitamento de resíduos de aproximadamente 96%, sendo que o menor resultado obtido foi para a madeira, de apenas 15%. A vantagem da utilização do PGRCC refletiu-se na economia gerada pela implantação do PGRCC que foi de R\$1,85 por metro quadrado, portanto, cabe salientar que para isto 125 m<sup>3</sup> de resíduos deixaram de ser dispostos em aterros ou outras áreas, e 45,45 m<sup>3</sup> de agregados naturais deixaram de ser explorados.

Do estudo do concreto, pode-se concluir que a porcentagem de finos e a porosidade dos grãos influenciaram negativamente a resistência do concreto, pois prejudicaram sua trabalhabilidade, comprometendo a uniformidade da moldagem de corpos-de-prova e gerando muitos vazios. Como pode ser observado pelos resultados obtidos, o concreto gerado a partir de agregados reciclados pode ser produzido com característica estrutural, entretanto, a sua geração é mais onerosa do que a geração de concreto com agregados naturais. Isto ocorre porque o concreto produzido com agregados reciclados necessita de utilização de maior quantidade de cimento do que os concretos gerados a partir de agregados naturais para atingir a mesma resistência à compressão e é, também, menos durável. Assim, o estudo prévio de características físicas e químicas dos agregados utilizados é de fundamental importância para a determinação de procedimentos de elaboração do concreto, além do estudo para utilização de aditivos para melhorar a trabalhabilidade.

Vale ressaltar que os agregados naturais são finitos, que a disposição de resíduos da construção civil também gera custos, e que opções para a substituição de agregados devem ser consideradas, pois logo deixarão de ser uma opção e se passarão a ser mandatórias.

Para dar continuidade a este estudo, que procurou utilizar tecnologias limpas para proporcionar a preservação do meio ambiente em relação à disposição final e reaproveitamento de RCD, são apresentadas as seguintes sugestões para trabalhos futuros:

- Estudo para substituição da madeira por outros materiais;
- Estudo da corrosão a médio e longo prazo em concretos produzidos com agregados reciclados;
  - Estudo das características dos agregados utilizados para determinação de procedimentos de elaboração do concreto;
  - Estudo da trabalhabilidade do concreto produzido com agregados reciclados;
  - Estudo da utilização de aditivos em concretos produzidos com agregados reciclados.

## 6. REFERÊNCIAS

ALJASSAR, A. H.; AL-FADALA, K. B.; ALI, M. A. Recycling building demolition waste in hot-mix asphalt concrete: a case study in Kuwait. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, 27/04/2005, No.7, p. 112-115.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM), **C 1260 – Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates (Mortar-bar method)**, 2007.

ANGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M. **Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem de Resíduos na Construção Civil**. In: IV SEMINÁRIO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A CONSTRUÇÃO CIVIL – MATERIAIS RECICLÁVEIS E SUAS APLICAÇÕES, São Paulo/SP, 2001.

ANGULO, S.C.; JOHN, V.M. **Normalização dos Agregados Graúdos de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados para Concretos e a Variabilidade**. Foz do Iguaçu: IX ENTAC, p. 1613-1624, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBRNM ISO 7500-1 – Materiais metálicos – Calibração de máquinas de ensaio estático uniaxial – Parte 1: Máquinas de ensaio tração/compressão – Calibração do sistema de medição da força**. 2004

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5738 – Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. 2008

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5739 – Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. 2007

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7200 – Execução de revestimento em paredes e tetos de argamassa inorgânica - Procedimento**. 1998

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.004 – Resíduos sólidos – Classificação**. 2004

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.005 – Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos**. 2004

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.006 – Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBRNM 348 – Método para determinação da composição granulométrica de agregados miúdos e graúdos para concreto**. 2003.

BOHNE, R. A.; BERGSDAL, H.; BRATTEBO, H. **Dynamic eco-efficiency modeling for recycling or C&D waste**, Norwegian University of Science and Technology - Industrial Ecology Programme, 2005.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário Mineral**. 304p. Ministério de Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral. Coordenação: Antonio Fernando da Silva Rodrigues. Brasília : DNPM/DIDEM, 2007.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 307 - Diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**, 2002.

BRASIL. IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa nacional de saneamento básico**. 2000. Disponível em < <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/default.shtm> > acesso em 27 de outubro de 2007.

COUTINHO, J S. **Agregados para Argamassas e Betões**. Materiais de Construção 1, Lisboa-Portugal, 1999.

CURITIBA. CÂMARA MUNICIPAL DE CURITIBA. **Lei Ordinária nº 11.682 – Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil em Curitiba - PROMGER**, 2004.

CURITIBA. PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. **Decreto nº 1.068 - Regulamento do Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil do Município de Curitiba**, 2004.

CURITIBA. PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. **Decreto nº 1.551 – Altera o Valor de Preço Público e dá Outras Providências**, 2006.

DURAN, X.; LENIHAN, H.; O'REGAN, B. A model for assessing the economic viability of construction and demolition waste recycling – the case of Ireland. **Resources, Conservation and Recycling**, No. 46, p. 302-320, 2006.

FATTA, D.; PAPADOPOULOS, A.; AVRAMIKOS, E.; SGOUROU, E.; MOUSTAKAS, K.; KOURMOUSSIS, F.; MENTZIS, A.; LOIZIDOU, M. Generation and management of construction and demolition waste in Greece – an existing challenge. **Resources, Conservation and Recycling**, No. 40, p. 81-91, 2003

FIGUEIREDO, P. J. M. **A Sociedade do Lixo: os Resíduos, a Questão Energética e a Crise Ambiental**. Piracicaba/SP, Editora UNIMEP, 1994.

FIORITO, A.J.S.I. **Manual de argamassas e revestimentos – Estudos e procedimentos de execução**. 1º Edição. São Paulo: PINI, 1994.

GARCIA, I.; LAURITZEN, E. K. **IRMA – A European project for a sustainable City Concept**, Disponível em < <http://projweb.niras.dk/irma> > acesso em 18 de setembro de 2007.



GREENWOOD, R. **Construction waste minimization – Good practice guide**. Cardiff University, 2003.

JOHN, V.M.; AGOPYAN, V. **Reciclagem de resíduos da construção**. Seminário - Reciclagem de resíduos sólidos domésticos, São Paulo, 2000.

JOHN, V.M.; ÂNGULO, S.C. Metodologia para desenvolvimento de reciclagem de resíduos. In: ROCHA, J.C.; JOHN, V.M. **Utilização de resíduos na construção civil**. Porto Alegre: Coletânea HABITARE, Volume 4, 2003. p. 8-71.

KIBERT, C.J. Policy instruments for a sustainable built environment, **J. Land Use and Envtl. L.**, No. 17 (2), p. 379-394, 2002.

LIPSMEIER, K.; GÜNTHER, M. **WAMBUCO – Manual europeu de resíduos da construção de edifícios**, Institute for Waste Management and Contaminated Sites Treatment of Dresden University of Technology, 2002.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. 2a edição, São Paulo/SP, Editora PINI, 1994.

MONTEIRO, J.H.P.; FIGUEIREDO, C. E. M.; MAGALHÃES, A. F.; MELO, M. A.F.; BRITO, J. C. X.; ALMEIDA, T. P. de; MANSUR, G. L.. **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, IBAM, 2001. 195p.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. Tradução engenheiro Salvador E. Giamusso. 2ª. edição, editora PINI, São Paulo, 1997.

PARANAVITHANA, S.; MOHAJERANI, A. Effects of recycled concrete aggregates on properties of asphalt concrete. **Resources, Conservation and Recycling**, No. 48, p. 1-12, 2006.

PINTO, T. de P. **Metodologia para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana**. 190 p. Tese (doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PONTA GROSSA. PREFEITURA MUNICIPAL DE PONTA GROSSA. **Decreto nº1.111 - Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil do Município de Ponta Grossa**, 2006.

POON, C.S.; CHAN, D. The use of recycled aggregate in concrete in Hong Kong. **Resources, Conservation and Recycling**, No. 50, p. 293-305, 2007.

RAO, A.; JHA, K. N.; MISRA, S. Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete. **Resources, Conservation and Recycling**, No. 50, p. 71-81, 2007.

RAKSHVIR, M.; BARAI, S.V. Studies on recycled aggregates based concrete. **Waste Management & Research**, vol. 24, p. 225 – 233, 2006.

SOUZA, M.E. **Levantamento preliminar dos pontos de poluição e aterros de resíduos de construção e demolição na bacia do Atuba-Bacaheiri, no trecho das nascentes a BR 476, em Curitiba-PR.** 77 p. Monografia (Graduação). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

TOZZI, R. F.; BRAGA, M. C. B. Caracterização, avaliação e gerenciamento da geração de resíduos da construção civil (RCC) em duas obras no município de Curitiba/PR-Brasil. **Engenharia e Construção**, vol. 10, No. 127, p. 35-40, 2007.

TOZZI, R. F. **Caracterização, avaliação e gerenciamento da geração de resíduos da construção civil (RCC) em duas obras no município de Curitiba/PR-Brasil.** 99 p. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

VIEIRA, G.L.; MOLIN, D.C.C.D.; LIMA, F.B. de . **Resistência e Durabilidade de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados Provenientes de Resíduos de Construção e Demolição.** Guimarães-Portugal: Engenharia Civil da Universidade do Minho, No.19, 05-18, 2004.